

# 徳島工業短期大学紀要

## 第 21 刊

### 目 次

#### 研究論文

MRI 試験装置を用いた複雑な流路の三次元流動測定 …………… 榎田直人 ……	1
あすたむカートの研究開発 (その3) ー製作途中経過ー …………… 島田 清・助道永次 …………… 小笠原史也 ……	15
スロットル・ポジション・センサ電子回路故障診断装置の製作について ー個別異常発生装置による故障診断ー …………… 岩瀬 一裕 ……	19
エンジンのアイドルリング不調 (その2) ーデータ・モニタで検証ー …………… 福栄 堅治 …………… 中 真人 ……	23
自動車ホイール・アライメント教材の試作 (第1報) ー教材試作計画に及ぼす近年の学生思考ー …………… 花野 裕二 ……	27
自動車整備士教育における基礎学力調査 数学 I について …………… 村上 和義 ……	31
体験教育用電動レーシングカート改良報告 (その1) …………… 助道永次・島田 清 ……	35
大学から始めるモータスポーツ ー自動車部ダートトライアル活動ー …………… 小笠原史也 ……	41
電動スポーツバイクの試作 (その6) ーバイクの電動コンバート化についての研究ー …………… 廣瀬 博文・平野 一正 ……	47

燃料電池を使った電動カートの製作 (その2) …………… 東 條 賢二・廣瀬 博文 …………… 平野 一正 ……	51
自動車構造材料の軽量化と成形性 ー高張力鋼板のプレス加工時における渋押しと形状凍結性ー …………… 中 哲夫 ……	55
火花点火装置の医療応用 ー水中放電発生装置の製作と発生衝撃波の収束観察ー …………… 宮城 勢治 …………… 中尾 愛 …………… 今井 武史・西尾 峰之 …………… 森時 秀司 ……	59
MRI を用いた 3 次元流動測定 …………… 榎田直人 ……	63
物理実験装置の製作報告 ー徳島文理大学香川キャンパス TA 実験ー …………… 榎田直人 ……	69
四国 EV ラリー 2016 …………… 多田 好宏・吉田 愛二 …………… 大森 海斗・土井 大輔 ……	73
地域の絆づくり ー基礎自治体における地域経営 (その1) ー …………… 前田 剛・吉田 愛二 …………… 岡南 均 ……	77
他誌掲載論文抄録 ……………	81

2017年6月



# MRI 試験装置を用いた複雑な流路の三次元流動測定

徳島工業短期大学 櫛田 直人

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 1,600°C のレベルに達している。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。タービン動翼の内部冷却も、更に高性能化する必要がある。タービン動翼の内部冷却手法としての代表例としてタービュレンスプロモータ流路、ピンフィン流路、ラティス流路が挙げられる。タービュレンスプロモータ付流路では傾斜リブあるいは、broken リブなど流路の三次元流れを利用した伝熱促進がなされている。また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。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<sup>[1][2]</sup>。ラティス流路はロシアで発明された冷却手法で、上下の格子が重なる冷却通路を冷却空気が流れることにより、複雑な流れを生じて伝熱促進が行われると考えられているが、まだそのメカニズムの詳細は明らかになっていない。

本研究ではタービン動翼の内部冷却流路における伝熱特性の改善を目指して、複雑な内部流動の三次元速度分布を測定する手法の構築にある。そしてタービュレンスプロモータ流路、ピンフィン流路およびラティス流路では三次元流動場を従来の PIV で把握することは内部構造が障壁となり困難であった三次元流動特性を測定しようとするものである。医療用 MRI を用いて、この目的が達成できるように周辺機器の準備や製作。MRI 測定結果については LES 数値解析の流速分布と比較検討する。

## II 実験装置

### 1. 実験装置概要

実験には GE Healthcare 製 BRIVI0355 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ス熱電対を取り付け、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、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  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。

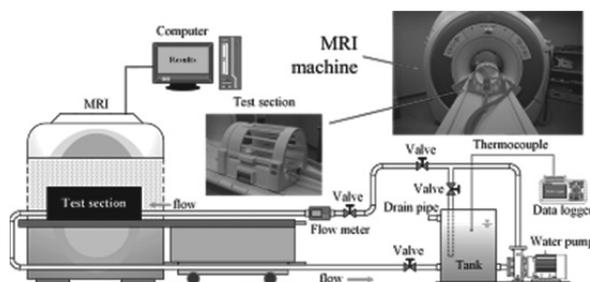


図 1 実験装置概要

### 2. 実験装置の改善

ピンフィン流路については流量 23.6l/min レイノルズ数 5,100 で対応することが出来たが、ラティス冷却流路では流量を更に確保する為に、液循環装置について以下の見直しを行った。

- (1) 圧力損失の起きている箇所を改善
- (2) 30l/min 程度の流量確保
- (3) エア抜き作業の簡略化
- (4) 流量計を組み込んだ配置
- (5) 緊急時、瞬時に流量を止められる安全性
- (6) 小型液循環装置を取り付けられる拡張性

(7) 配管の接続方法を見直し、漏れない確実な接続とする

a. 改善前の状態

改善前の状態を図2に示す。問題点としてはポンプからリターン配管への立ち上がったホースがありリターンホースも一度下がってからタンク上部へと戻る配管となり、始動時エアかみによる吸い上げ不良があった。また吐出口位置が低く配管接続時の作業性が悪い。

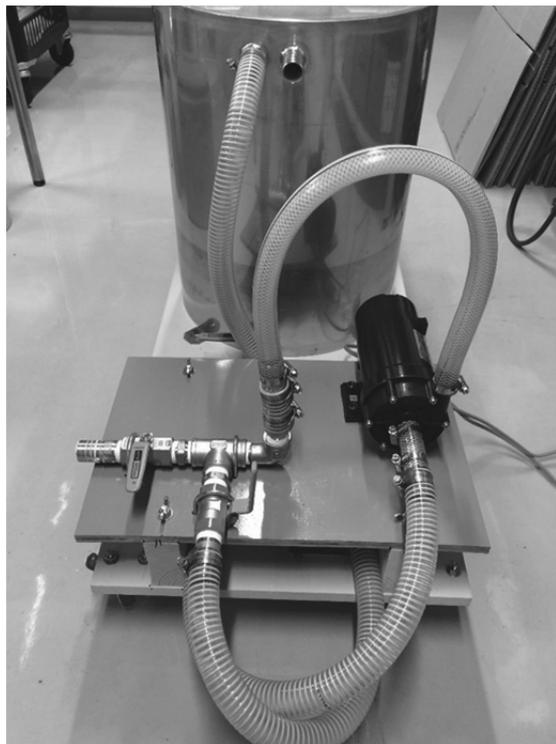


図2 改善前の液循環装置

次にデジタル流量計について示す。本研究では図3に示す SMC 製 PF3W740S-06-A-MR を使用している。測定範囲は 5~400/min で、流量調整バルブが取り付けられている。



図3 デジタル流量計

今回、デジタル流量計の圧力損失を調べるために流量計を接続せずに液循環装置を作動させたところ平均で 350

/min の流量が出ることがわかった。そして流量計の圧力損失は流量調整バルブの無いモデルでは 350/min でも 0.02Mpa 以下となっていることが図4に示す流量特性から確認された。また図5に流量調整弁の流量特性を示す。

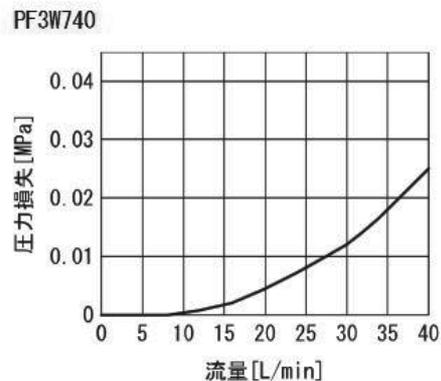


図4 流量計 流量特性 (流量調整弁無し)

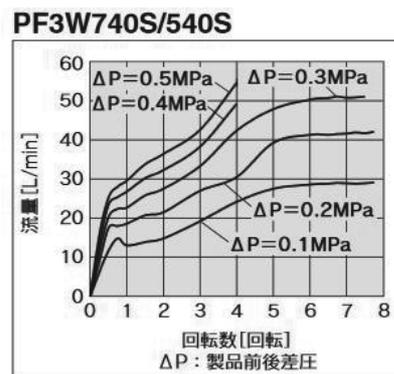


図5 流量調整弁の流量特性

図5 流量調整弁の流量特性図をもとに全開時、流量計前後の差圧を求めると約 300/min で 0.1Mpa となり水頭 (m) は

$$0.1\text{Mpa} \div 0.0098 = 10.20\text{m} \quad (2.1)$$

となる。マグネットポンプ PMD-581B2E の性能は 5m 350/min であるので、流量調整弁による圧力損失により流量が大きく下げられていることがわかった。

b. 改善策

表1に流量計構造部品を示す。図6に示すデジタル流量計の構造から、流量調整弁の部分を分解、取り外しができることがわかった。それにともない配管接続部入口

と出口までの長さが短くなるので固定ボルトを M4×100 から M4×60 に変更し固定をおこなった。流量調整弁取り外し後の状態を図 7 に示す。

表 1 流量計構造部品

番付	名称	材質	備考
1	アタッチメント	SCS13	SUS304相当 PF3W704/720/740/711/504/520/540/511
2	パッキン	SUS304	PF3W721/521
3	ボディ	FKM	
4	センサ	PPS	
5	温度センサ	SUS304	ろう付部あり ( JIS Z 3261 : BAg-7, ISO 3677 : B-Ag56CuZnSn-620/650 )
6	温度センサボディ	SUS304	
7	流量調整弁ボディ	PPS	
8	流量調整弁カバー	PPS	
9	流量調整弁シャフト	SUS304	
10	シャフトサポート	PPS	
11	Vパッキン	FKM	
12	キャップシール	FKM	

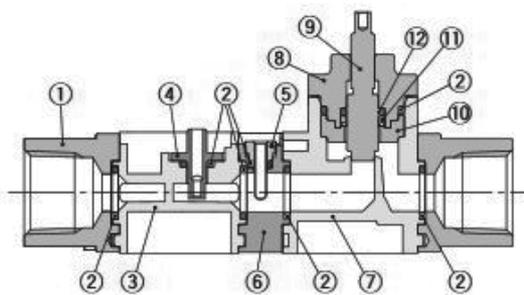


図 6 流量計構造図

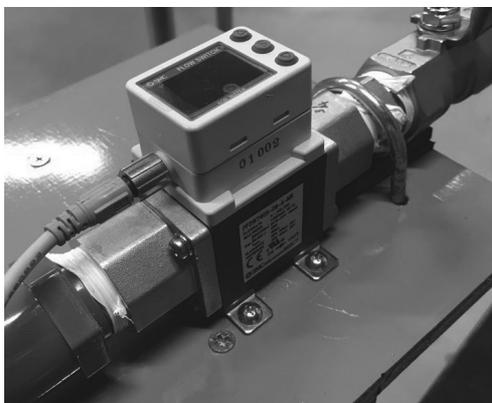


図 7 流量弁取り外し後の流量計

液循環装置の分岐部の配管による吸い上げ不足については、タンクからの水溶液取り出し口のの高さとポンプ吸入口の高さを合わせることで、またポンプ吐出口からエルボ 1 個を介すだけで流量計→流量調整バルブ→テストセクションとすることで曲がり部分を減らして圧力損失を減らすようにした。ポンプおよび配管改善後の状態を図 8 に示す。リターン配管も上下していた配管を見直し、上方向へ向かった配管とすることでエアが抜けやすくなり、始動時のエアかみを防止するように配管した。

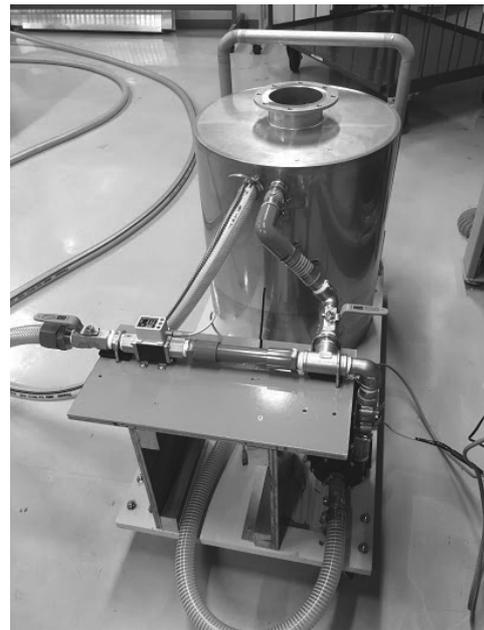


図 8 ポンプ位置と配管分岐部の改善

そして、今まで別に設置していたデジタル流量計をポンプ台に設置することで、テストセクションへの配管のしやすさ、ホース数の削減、接続部分の削減ができた。

#### 改善結果

実際に水を流して漏れおよび流量を確認した。改善前は最大約 240/min であった流量が約 340/min となり、100/min の流量を増やすことができた。

### 3. ホース及び接続方法

配管に用いたホースについては一般用給排水用 PVC 製ホースを使用していた。接続部分にはステンレスバンド (RF アンテナ外) 樹脂製結束バンドおよび接着剤 (RF アンテナ内) としていた。図 9 に接続状態を示す。

ホースについては低温時に硬くなって取り回しにくくなり、何度も組み付けを繰り返すと伸びや割れが発生した。そして接続バンドでは、実験準備や実験終了後の片付け時に毎回バンドの取り付け、取り外し作業に時間を要していた、また締め付け不良時には漏れが発生することもあり、より確実な接続方法とする見直しをおこなった。

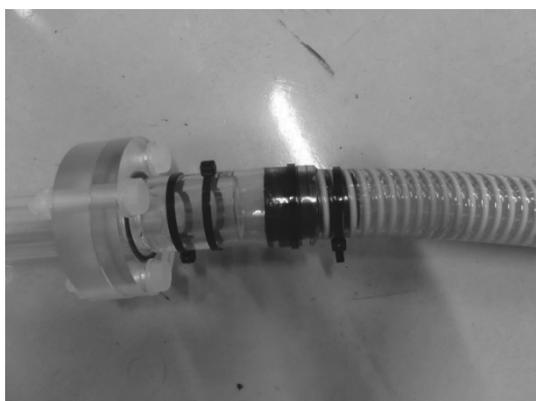


図 9 結束バンドとステンレス製バンドによる接続



ホースについては図 10 に示す、十川産業製 MEGA サンプレーホース SB25 最高使用圧力 1Mpa 最小曲げ半径 100mm 軟質ポリ塩化ビニールにポリエステル糸を格子状に挟んだ上に軟質塩化ビニールで覆った構造のホースを選定した。またホースにガイドラインが印されていることで捻じれが把握しやすい。

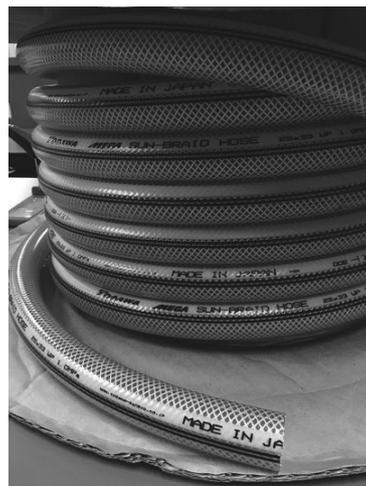


図 10 十川産業製 MEGA サンプレーホース

接続ジョイントには図 11 で示す、リガルジョイント カンタッチ TH25-3/4-S-N を選定した。

選定理由について記述する。使用方法については図 12 を参照のこと。

- (1) ホースバンドを使わず、袋ナット式と二重ロック構造でしっかりロックすることができる。
- (2) ナットを最後まで締めるだけで、誰でも確実・安全に締められる。
- (3) ナットをゆるめるだけで、金具ごとはずれるのでメンテナンスが容易にできる。



図 11 リガルジョイント カンタッチ TH25-3/4-S-N

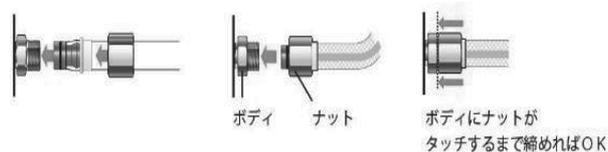


図 12 カンタッチ使用方法

テストセクションへの接続は、接着剤による完全固定にステンレス製バンドの補強で、フランジとホースを一体構造とすることで漏れを防ぐこととし、ホース同士の接続はカンタッチジョイントで対応した。結果としてホースの取り回しのし易さや、カンタッチジョイントの確実な接続により、信頼性の確保と準備および片付け時間の大幅な短縮ができた。

### Ⅲ 供試模型

#### 1. タービュレンスプロモータ流路のモデル化

アクリルで製作したリブ付き流路模型の形状、寸法を表2に示す。製作した供試体および整流チャンバーを図13に示す。リブ寸法は高さ  $e=8\text{mm}$ 、幅  $8\text{mm}$  で流路断面形状は高さ  $60\text{mm}$  幅  $60\text{mm}$  長さ  $570\text{mm}$  である。リブピッチ  $p$  は  $p/e=3,6,10$  の3種類とした。

表2 タービュレンスプロモータ流路種類

名称	リブピッチ $p/e$	流路サイズ (mm)
TP-3	3	60×60×570
TP-6	6	60×60×570
TP-10	10	60×60×570

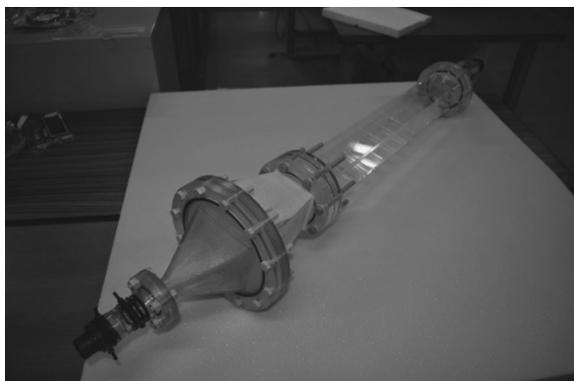


図13 リブ付き流路の供試体

#### 2. ピンフィン流路のモデル化

本研究では表3に示す3種類のピンフィン流路模型を利用した。ピンフィン流路模型は3種類全てアクリル製で、底面に対して垂直に ( $0^\circ$ ) 設置された直立ピンフィン、底面に対して  $45^\circ$  の取り付け角度を持って設置された傾斜ピンフィン、さらに傾斜ピンフィンに波状底面に合わせて先端形状を整形したものである。それぞれのピンフィン流路模型を図14、図15、図16に示す。

直立ピンフィン、傾斜ピンフィンの基本的な幾何寸法を図17に示す。ピンフィン直径は  $9\text{mm}$  となっており、

またピンフィンに対する直角断面は正三角形型の千鳥配となっている。流路の流れ水平方向を  $x$ 、流路の流れに対して垂直方向を  $y$ 、流路高さ方向を  $z$  とする。

表3 ピンフィン流路種類

名称	ピン取り付け角度 ( $^\circ$ )	底面形状
直立ピンフィン	0	平面
傾斜ピンフィン	-45	平面
傾斜+波状面 ピンフィン	-45	波状面

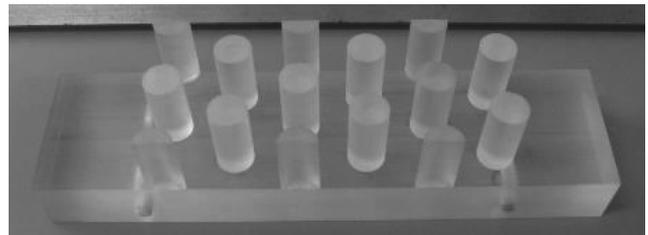


図14 直立ピンフィン

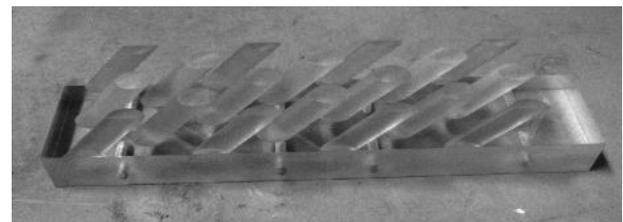


図15 傾斜ピンフィン

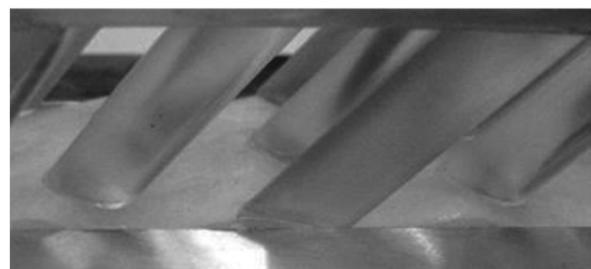
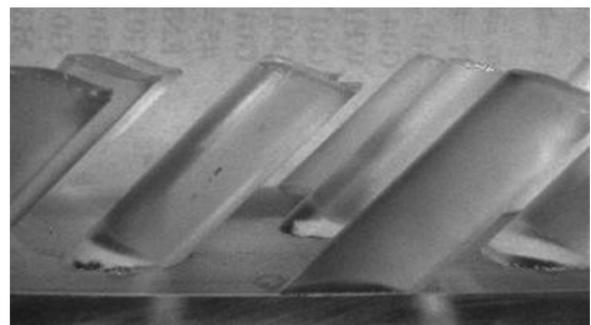


図16 波状底面用ピンフィン先端

#### IV 実験結果

##### 4. タービュレンスプロモータ流路実験条件

MRI 装置で三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三次元磁気共鳴映像法 (3DPC 法) を用いた<sup>[3]</sup>. 3DPC 法における測定可能最大流速は 550cm/s である. MRI 試験装置でタービュレンスプロモータ流路の三次元流動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 256×256mm で 1 ピクセルは約 0.6mm<sup>3</sup> を有する. 実験は  $p/e$  を 3 条件変化させ, 流速を変化させた 6 種の実験が実施された. 実験条件を表 4 に示す. 表 4 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. 撮像方向はリブに直角の断面で撮像する方法 (サジタル), VE200 cm で測定した.

表 4 タービュレンスプロモータ流路実験条件

テスト名	$Re_d$	流速 (m/s)	液温 (°C)	$p/e$	NEX(回)
TP3-1	6,000	0.1	21.5	3	5
TP3-2	2,000	0.03	21.5	3	5
TP6-1	6,000	0.097	21.0	6	5
TP6-2	2,000	0.03	21.0	6	5
TP10-1	6,000	0.1	21.0	10	5
TP10-2	2,000	0.03	21.0	10	5

##### 5. タービュレンスプロモータ流路実験結果

タービュレンスプロモータ付き流路模型の実験結果として  $p/e = 6$ ,  $Re=6,000$  のケースに付き, MRI 装置を用いて得られたデジタル信号を, Tecplot を用いて, リブ付き流路の速度分布の画像化を可視化した.  $p/e=6$ ,  $Re=6,000$  におけるリブ付き流路の速度分布を図 20 に示す. 図 21~図 23 に図 20 中のリブ位置①~③点における拡大図を示す.

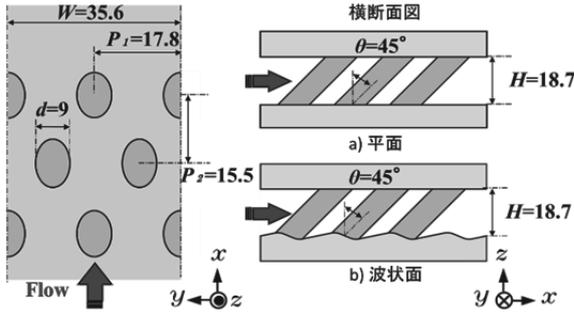


図 17 ピンフィン寸法

##### 3. ラティス流路のモデル化

ラティス流路は図 18 に示すように, 高さ 10 mm, 幅 15 mm の流路が 6 本設置されており, 上面 3 本, 下面 3 本でほぼ 1 のアスペクト比と交差角 45 度で組み合わせるようにモデル化したものである. ラティス部分の外観図を図 19 に示す. 流路の流れ水平方向を  $x$ , 流路の流れに対して垂直方向を  $y$ , 流路高さ方向を  $z$  とする.

それぞれの流路が折り返し部を通過することで, 冷却媒体に縦渦を形成し, 対向する流路要素内の流れと干渉させながら出口へ向かって流れる構造となっている.

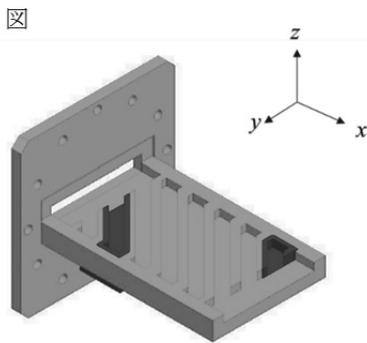


図 18 ラティス 内部構造図

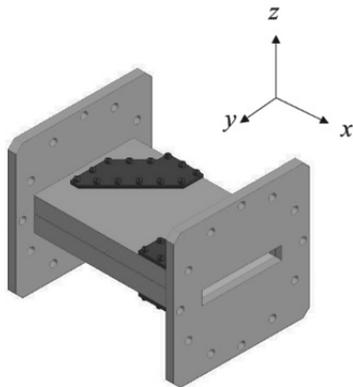


図 19 ラティス冷却流路テストセクション外観

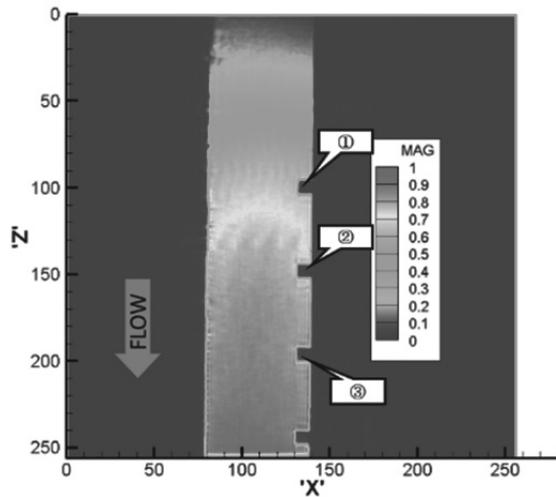


図 20  $ple=6$  レイノルズ数 6,000 流速 0.1m/s

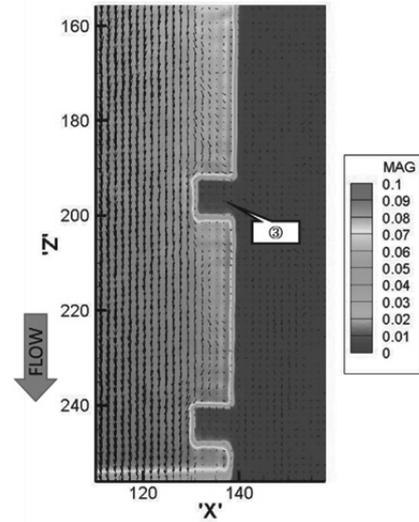


図 23  $ple=6$  ③拡大図

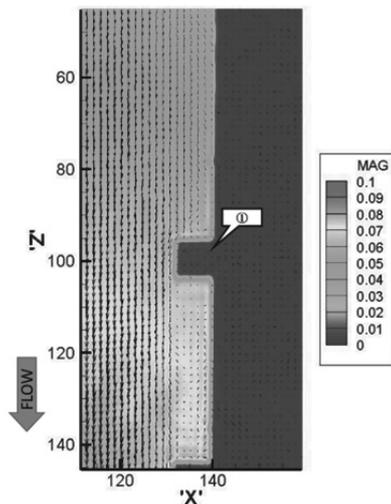


図 21  $ple=6$  ①拡大図

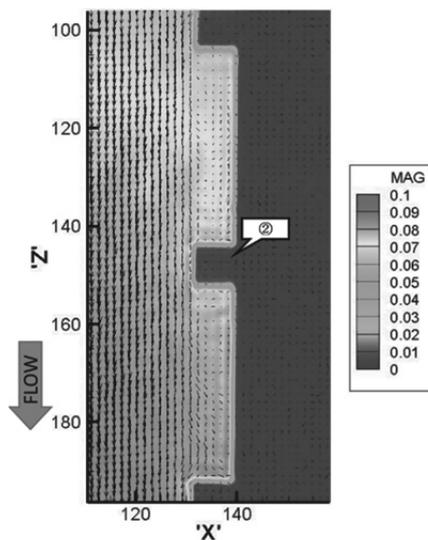


図 22  $ple=6$  ②拡大図

## 6. タービュレンスプロモータ流路 考察

1.5T の MRI 装置を用いた速度分布の測定の空間分解能は約  $0.6 \text{ mm}^3$  と言われている. 本実験で用いたリブの高さは  $9 \text{ mm}$  であり, 高さ方向に 12 点の速度測定点があると考えられることから, リブ周りの速度分布の測定が出来たと考える.

図 21 に示す 1 段目拡大図ではリブに沿っての流れを確認することができる. しかしリブの下流側では NEX5 での撮像繰り返しによりデータが平均化され渦は確認できなかった. 図 22, 図 23 とカラー表示が変わっていくのは MRI 装置でのスキャン中心位置から離れていくと信号値が弱くなるという MRI 装置の特徴である. このことからスキャン中心位置から  $10 \text{ cm}$  程度までがデータとして使用できることが確認された.

## 7. ピンフィン流路実験条件

MRI 装置で三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三次元磁気共鳴映像法 (3DPC 法) を用いた<sup>[3]</sup>. 3DPC 法における測定可能最大流速は  $550 \text{ cm/s}$  である. MRI 試験装置でピンフィン流路の三次元流動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  $160 \times 80 \times 80 \text{ mm}$  で 1 ピクセルは約  $0.6 \text{ mm}^3$  を有する. 実験は同一レイノルズ数  $Re=5,000$  でピンフィンを 3 条件変化させた計 3 条件の実験が実施された. 実験条件を表 5 に示す. 表 5 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

表 5 ピンフィン実験条件

テスト名	$Re_d$	流量 $Q$ [L/min]	液温 $T$ [°C]	NEX
0° flat	5,000	19.9	25.5	5 回
-45° flat	5,000	22.4	21.6	5 回
-45° wavy	5,000	19.9	25.5	5 回

### 8. ピンフィン流路実験結果

0° flat ピンフィン流路の流速分布を図 24 に示す。2 列目となるピン上流には流速の早い部分が観測されている。そして各ピン直後では信号値があり、その後流部分では流速が低いと表示されているが、剥離した流れと伴流による複雑な流れが平均化されたため信号値が低くなった為である。

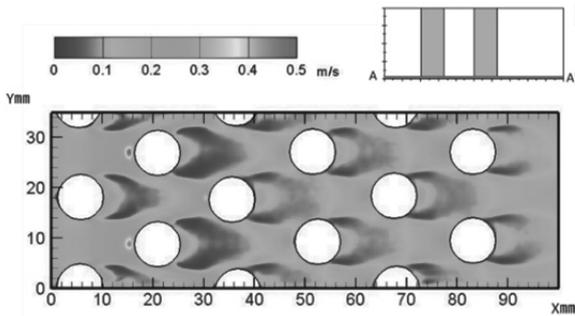


図 24 直立ピンフィン流速分布図 底面 A-A'  
( $\theta=0^\circ, Re_d=5,000$ )

-45° flat 底面 A-A' で測定した流速分布を図 25 に示す。図 25 より MRI 測定 of 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、繰り返した流れとなっていることが観測された。ピン交流部分では止水域となった流速の低い部分がある。そして、ピン側面からは吹き降ろす流れとともに複雑な流れが発生し、信号値が低く表示されている。

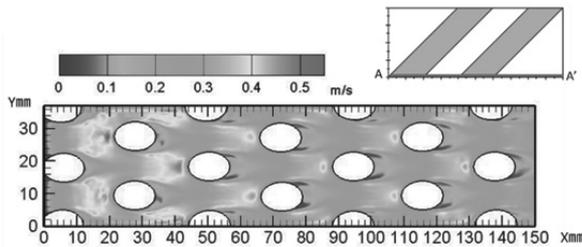


図 25 傾斜ピンフィン流速分布図 底面 A-A'  
( $\theta = -45^\circ, Re_d=5,000$ )

-45° flat 上面 B-B' で測定した流速分布を図 7.2.3 に示す。図 26 より、ピン上流部分ではピン中心部でピンに沿った流れにより流速が促進されていることが観測された。また側面ではピンに沿って流れたあと、次に配置されたピンへ向かう流れとなっている。

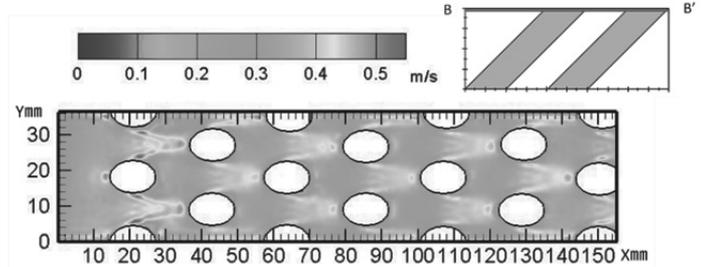


図 26 傾斜ピンフィン流速分布図 上面 B-B'  
( $\theta=-45^\circ, Re_d=5,000$ )

-45° flat のピンフィン流路で 4 列目となるピン中心部分の流れを、流れに対して垂直方向から表した流速分布図を図 27 に示す。図 27 よりピン中心部分では上面へ向かった流れ、ピンフィン後流では上に向かった後、千鳥配置された下流にあるピン側面からの吹き降ろし状流れの影響を受けて下に向かった流れとなっている。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。

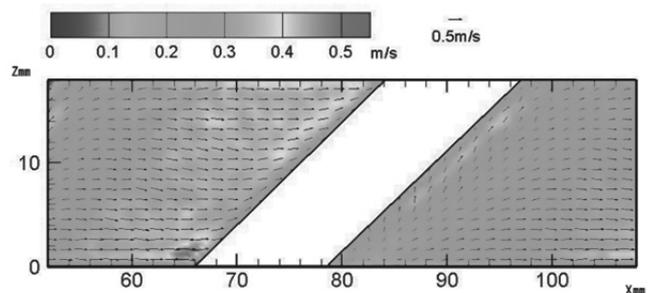


図 27 4 列目 傾斜ピンフィン中心部流れ  
( $\theta=-45^\circ, Re_d=5,000$ )

-45° 波状面でのピンフィン流路で 4 列目となるピン中心部分の流れを、流れに対して垂直方向から表した流速分布図を図 28 に示す。図 28 よりピン上流部分でのベクトルは平面でのピンフィン流れと同様であるが、波面に沿って剥離・再付着が起こっていることが確認できた。

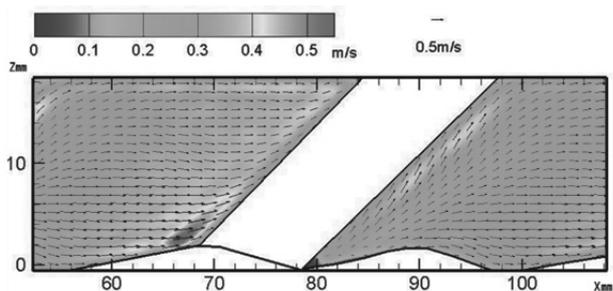


図 28 4 列目 傾斜ピンフィン波状面流れ  
( $\theta=-45^\circ$ ,  $Re_d=5,000$ )

レイノルズ数=5,000における45度傾斜ピンフィン5列目近傍についての平坦な端壁と波状端壁をMRIによって測定された速度分布の比較を図29に示す。波状端壁についても馬蹄渦のために各ピンフィンの前に局部的に高速の領域が存在することが観察される。流速はピンフィンの列の間で加速され、ピンフィンの側面で剥離される。平面のピンフィンの後ろには強い渦があり信号値が低く表示されている、波状面では渦が弱くなることを確認された。

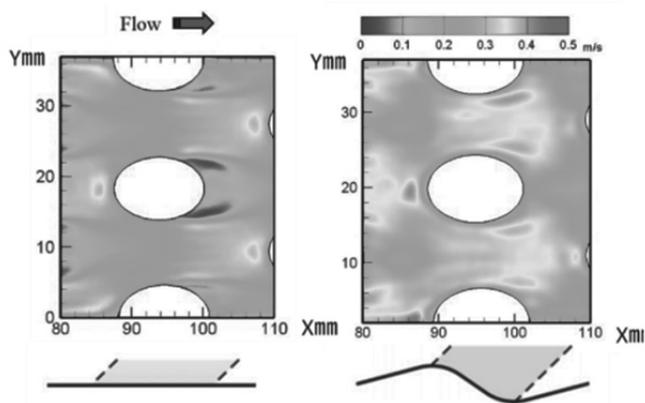


図 29 5 列目の平面と波状面における流速分布  
( $\theta=-45^\circ$ ,  $Re_d=5,000$ )

## 9. ピンフィン流路 考察

MRI 撮像で得られた測定データと比較するために、Large Eddy Simulation (LES) による解析結果との比較を行った。図30に平面および波線の端壁上の45度傾斜ピンフィンのLESによって計算された速度ベクトルおよび乱流強度を示す。図30に示すように、平面45度傾斜ピンフィンの後ろには下向きの流れがあるが、波状の端壁45度傾斜ピンフィンの場合、波状の山に沿った上向きの流れが存在し、そして後方に配置された傾斜ピンからの流れが乱流を促進している。

次にMRI撮像データについて説明する。MRI撮像でも同様に平面45度傾斜ピンフィンの後ろに下向きの流れが存在したが、波状の端壁45度傾斜ピンフィンの場合、波状の山に沿った上向きの流れが存在していることが確認された。また平面モデルに比べて波状面モデルの方がピン上流部でより強い流れとなっていることが確認された。

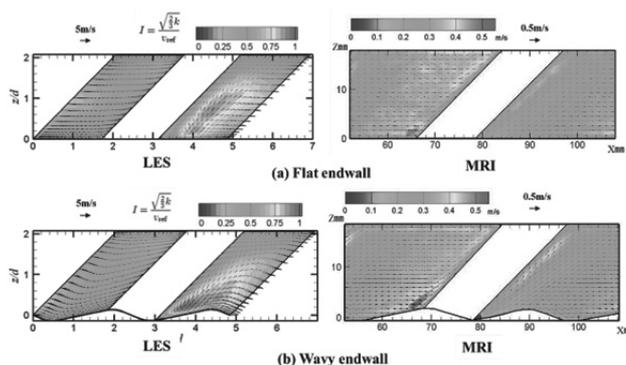
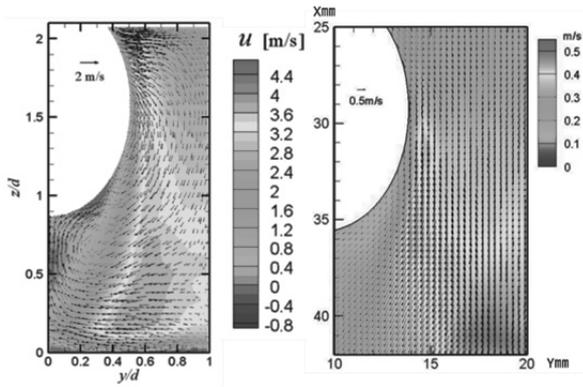
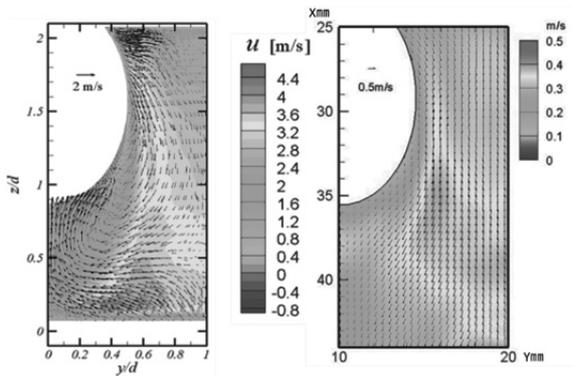


図 30 平面と波状面における流速分布

LES及びMRIの結果の速度分布及び速度ベクトルを比較した図を31に示す。図31に示すように、平らな端壁45度傾斜ピンフィンの強い下向きの流れが波状の丘に沿った上向きの流れによって弱まることが明らかになった。波状の端壁を有する45度の傾斜ピンフィンの圧力損失は、平坦な端壁の場合に比べて少し低い。波打った丘に沿った上向きの流れは、傾斜ピンフィンの後ろに発生する後流による止水域を減少させることが確認できた。



a) Flat



b) Wavy

図 31 5 列目 平面と波状面におけるピンフィン近傍の流速分布 ( $\theta = -45^\circ$ ,  $Re_d = 5,000$ )

左側が LES 解析結果 右側が MRI 撮像結果

### 10. ラティス流路実験条件

MRI 装置で三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三次元磁気共鳴映像法 (3DPC 法) を用いた<sup>[3]</sup>. 3DPC 法における測定最大流速は 550cm/s である. MRI 試験装置でピンフィン流路の三次元流動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  $216.01 \times 216.01\text{mm}$  で 1 ピクセルは約  $0.6\text{mm}^3$  を有する.

表 6 にラティス流路実験条件を示す. ラティス流路実験は同一レイノルズ数  $Re = 7,700$  で NEX5 (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). 各ラティス流路の撮像方向は, コロナル (水平方向) サジタル (流れに対して垂直方向) アキシャル (流れに沿った水平方向) を撮像した.

表 6 ラティス流路実験条件

テスト名	$Re_d$	流量 $Q$ [L/min]	液温 $T$ [°C]	NEX
ラティス コロナル	7,700	30.0	22.6	5 回
ラティス サジタル	7,700	30.0	23.5	5 回
ラティス アキシャル	7,700	30.0	23.5	5 回

### 11. ラティス流路実験結果

ラティス流路上面からコロナル方向に表示した流速分布を図 32 に示す. 入口部分では鋭角のエッジ壁に沿って流入した流れが流路壁で剥離している状態が観察される. その後, 流路内で折り返した流れが繰り返されることによって流速分布が平均化されていることが確認できた, ラティス流路側壁部での折り返し部分となる所では渦となった流れが確認された.

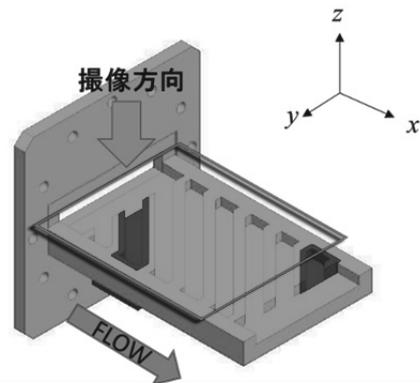
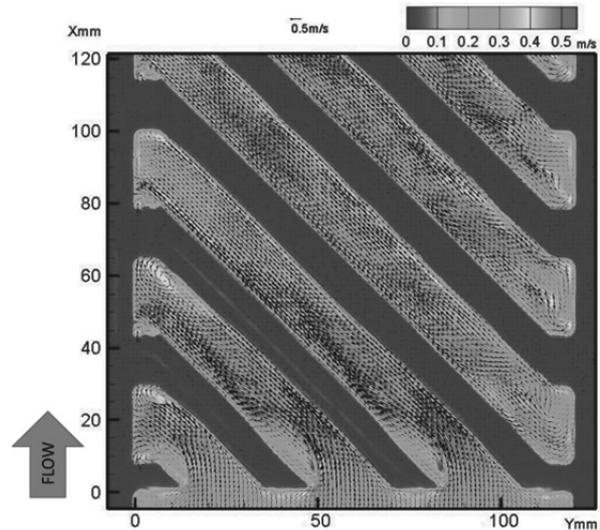


図 32 ラティス流路上面の流速分布 ( $Re_d = 7,700$ )

図 33 に示すラティス流路下面（コロナル方向）での流れにおいても，上面の流れと同様に入口部分では剥離した流れが生じ，その後流路内で流速分布が平均化されていく流れが観察された．そして，ラティス流路側壁部での折り返しとなる流路端部では渦が確認された．

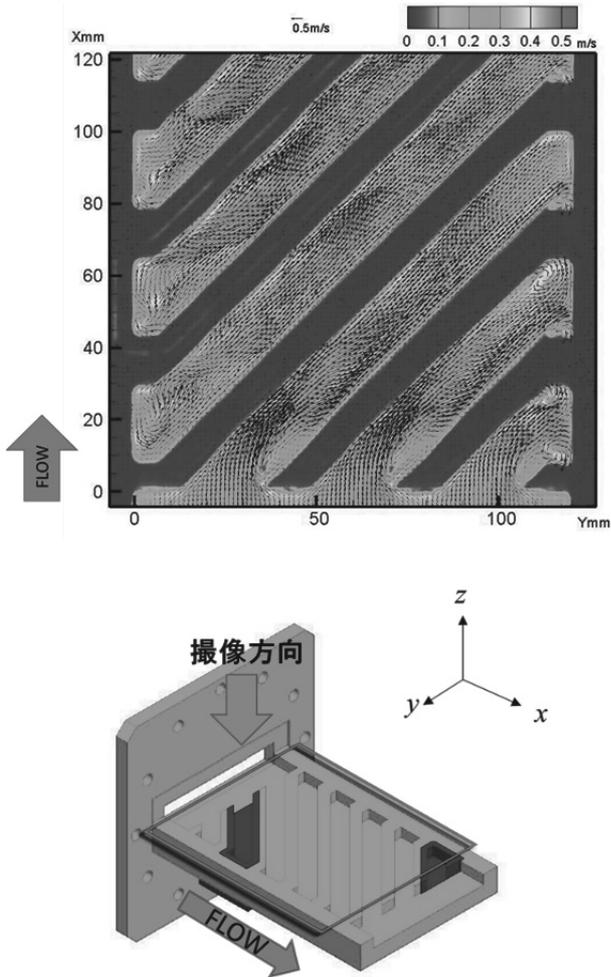


図 33 ラティス流路下面の流速分布 ( $Re_d=7,700$ )

図 34 はラティス入口部分の流れ方向に対して右側からサジタル方向で表示した流速分布である．

X 軸 30~40 mmの部分では下側流路チャンネルからの流れが上部チャンネルへ向かっていく流れが確認される．そして上部チャンネルでは上に向かった強い流れにより渦が発生していることが確認できた．

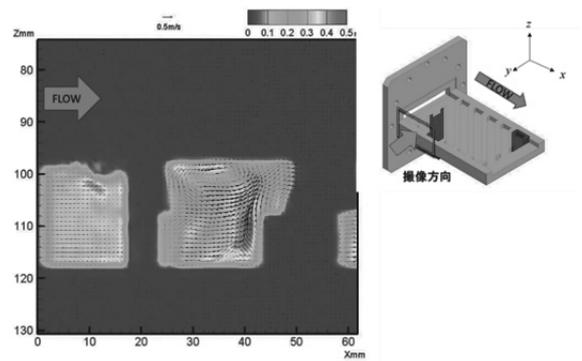


図 34 テストセクション入口 右側部分の流れ ( $Re_d=7,700$ )

図 35 はテストセクションを左側からサジタル方向で表示した流速分布である．こちら側では上部流路チャンネルから下側流路チャンネルに向かった流れとなっており，折り返し部で下側に向かった強い流れが生じ，そして下側流路チャンネルで渦が発生していることが確認できた．

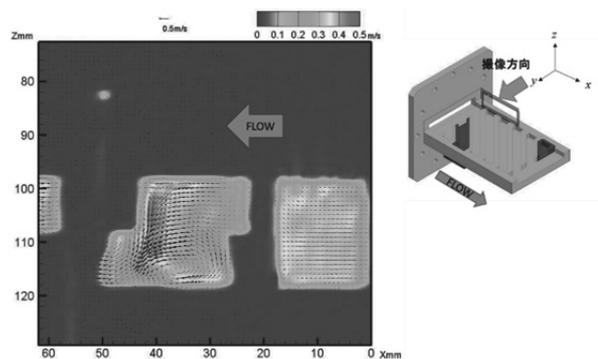


図 35 テストセクション入口 左側部分の流れ ( $Re_d=7,700$ )

図 36 にテストセクションの流れ方向を入口からみた流速分布図を示す．アキシャル方向の表示画像である．上部流路チャンネル，下部流路チャンネルともに流路内でらせん状の渦が発生していることが確認された．また上部流路チャンネル，下部流路チャンネルが重なる箇所では流速が促進されていることが明らかになった．

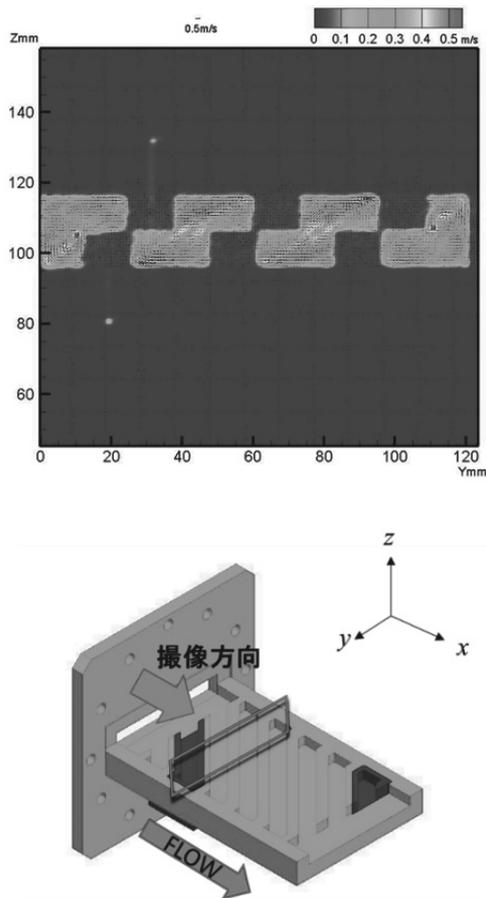


図 36 テストセクション入口から見た流速分布  
( $Re_d=7,700$ )

## 12. ラティス流路 考察

ラティス流路では入口部分で剥離した流れが流路壁に再付着することで、流速分布が平均化されていく。また、ラティス流路側壁に衝突した流れが折り返すことで渦が発生する。そして、下側流路チャンネル、上部流路チャンネルの折り返しによる強い流れも渦を発生させる。また、接触した交差した流路チャンネルを通過することで、渦巻きコアが発生する。

その結果、ラティス流路内の流れは、ラティス流路内に複雑な流れ線を形成する。これらの渦が熱伝達を向上させると考えられる。以上のようなラティス流路内の三次元流動状態が、MRI 装置で測定可能であることが明らかになった。

## V まとめ

三次元磁気共鳴映像法 (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三次元流れ場の測定およびラティス流路に適用し、ピンフィン流路については既に実施した LES 数値

解析による傾斜ピンフィンを有する端壁面上の流速分布図と比較することによって、ピンフィン近傍の流速分布のメカニズムを明らかにした。本研究から以下のことが明らかになった。

- (1) 1.5T 医療用 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、 $0.6\text{mm}^3$  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流速分布の測定が可能である事が明らかになった。MRI 流速測定に使用する硫酸銅水溶液の濃度は  $0.015\text{mol}$  が適している。硫酸銅水溶液温度管理を  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  で行ったが、速度分布画像の鮮明度には問題はなかった。また温度による信号値の変化を無くして流速測定が出来る。また撮像繰り返し回数  $NEX=1$  と  $5$  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  $NEX=5$  が優れることが明らかになった。MRI 撮像データは設定中心から  $10\text{cm}$  程度において、信号値変化が無く使用できる。そして流速が速くなるに伴って MRI 信号値も強くなり、撮像データのノイズが減少することが確認された。
- (2) MRI 試験装置を製作する上で特有の注意を払うべき事項を明らかにした。具体的には、液循環装置および流量計については、硫酸銅水溶液に耐える耐酸性が必要である、また実験終了後は硫酸銅水溶液を排出し、液循環装置および流量計を清掃することで、硫酸銅水溶液に腐食されることを防いだ。供試体については、MRI 撮像データに影響が無い非磁性体であること、循環させる硫酸銅水溶液が漏れないようにする為、各接続部分には O リングを組み込んで製作した。供試体のホース接続部分となる部分にはステンレスバンドを使用したが、RF アンテナから離れた位置とすることで撮像データへの影響を無くすことができた。ポンプから供試体までの配管には、配管途中に分割できるカンタッチジョイントを組み込むことで分割できるようにした。このことにより配管時間の短縮および繰り返す接続に耐えることが出来るようになった。
- (3) MRI 装置を用いて複雑な流路の三次元流速測定が可能である事を実験的に明らかにした。具体的には、タービュレンスプロモータ流路では、リブに沿って流れる流速分布および速度ベクトルを測定することができた。千鳥配置されたピンフィン各列における三次元速度分布によって、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。ラティス流路では入口部分で剥離した流れが流路壁に衝突することで、流速分布が平均化されていく。また、ラティス流路側壁に衝突した流れが折り返すことで渦が発生する。そして、下側流路チャンネル、上部流路チャンネルの折り返しによる強い流れも渦を発生させることが確認された。このような複雑な三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应用価値があると考えられる。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。

With a Wavy Endwall,” Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference, Washington, DC, August 8–13, ASME Paper No. IHTC14-23191,(2010).

6. 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.
7. Tomoko Hagari and Katsuhiko Ishida.,” NUMERICAL INVESTIGATION ON FLOW AND HEAT TRANSFER IN A LATTICE (MATRIX) COOLING CHANNEL,” Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition GT2013.

#### 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. 尾崎正則 “MR 専門技術者認定試験対策講座 その 1 S/N 比測定, 均一性測定”  
(<http://kanamri.umin.ne.jp/18-2.pdf>)
5. Oda, Y., Takeishi, K., Miyake, Y., Moriai, H., and Motoda, Y., “Numerical and Experimental Studies of Turbulent Heat Transfer in Inclined Pin-Fin Channels



## あすたむカートの研究開発（その3）

### —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、あすたむらんどから依頼されたあすたむカートの製作途中までを報告した。今報告は、予定では完成報告となるべきであったが、制作にたずさわれる工数不足から、一部未完成の状態での中間報告となる。ソーラーパネルの取り付けなど大物は完成しているの、次年度の早い時期に完成にこぎつける予定である。

#### II 制作内容

前報では、車両後部のフレーム製作と動力伝達系の製作までであった。今回は、車両のイメージを決めるフロントパネルをはじめ、ドア、側面パネル、リヤパネルなど、車体周りの製作から取り掛かった。

車体は三次元形状であるため、本来は土台となる中子を作り、その上に造形用粘土で形を作り出してゆくのベストではあるが、費用の点から難しい。バギーを製作した時には、角材、合板、ベニヤ等で概略の形状を作り出し、その上に漆喰を盛って成型作業を行ったが、今回はエキスパンションメタルを利用して形を作り出すこととした。側面パネルは形状を二次元面としたので、合板と薄いベニヤ板で形状を作り出した。その様子を写真1に示す。



写真1 車体制作の途中状態

この上にFRPのクロス及びマットを積層して直接車体パネルを製作することとした。フロント、ドア及びリヤについては、FRP積層後、内部の土台は取り外してFRPパネルのみを車体に取りつける構造とした。側面パ

ネルは合板及びベニヤ板で作った外表面にFRPのクロスを2枚積層して強度を確保し、土台となる合板などはそのまま使用している。

いずれの部品も、FRPを積層した直後の状態では、表面に凹凸ができるので、FRPパテを盛って成型し、なだらかな表面形状を作っている。

リヤパネルは、単純なR形状としたため2.5mm厚のベニヤ板3枚をR形状に沿わせて積層した。なお、リヤパネルにはLED式の市販のコンビランプを左右各1取り付けしている。(写真2)



写真2 リヤパネル

車両のヘッドライトは、ベースとなった軽トラックのものをそのまま流用し、ランプのみバイク用のLEDランプ(各8W)のものと交換した。その他、前部の車幅灯、方向指示器はバイク用の市販のLEDランプ式を使用し、同じくLEDランプ式のデイトタイムランニングライト(青色)を取り付けた。これらのランプは、フロントパネル下側の左右に開口部を設け、そこに取り付けた。

また、フロントパネルには、表情を付けるためにラジエーターグリル風の開口を設け、裏側からひし形の開口を持つためのエキスパンションメタルを取り付けた。車体のカラーリングは、今後行うが、基本イメージとして、太陽、青空、白い雲をモチーフに考えているので、取り敢えず白で全面を塗装し、パイプ製のバンパのみ赤色とした。ここまでの車体の様子を写真3、4に示す。



写真3 車体の途中写真（斜め前方）



写真6 車体の途中写真（斜め左前方）



写真4 車体の途中写真（斜め後方）

乗客の乗降口は左側面であり、写真5はドアを取り付ける前に本学職員の子供たちに協力していただき、車両への乗降性などの意見をもらった時の様子である。ステップの高さや手すりなどに問題はなかったものの、ドアがないと走行中に地面が丸見えであり、少し不安を覚えるという意見をもらった。そのため、やはり当初の計画通り安全上の配慮から写真6に示すように各列にドアを取り付けた。ドアはばねの作用で常時閉じるようにしてあり、最終的には電磁ドアロックを取り付けて、走行中はドアが開かないようにする予定であるが、現時点では手動のロックを取り付けてある。



写真5 乗降性の確認風景

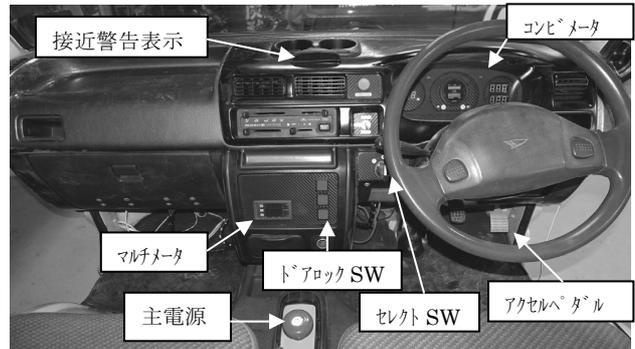


写真7 運転席周り

操作系としては電気自動車用のアクセルペダルを通常のペダルの位置に写真8のように取り付けた。

電源関連としては、写真9に示すように駐車ブレーキレバー前方に主電源スイッチを取り付けた。この主電源スイッチは鍵付きで、4つ搭載されているバッテリーの間に配線されており、緊急事態のときには、運転手がキーノブを下向きにたたくように操作すると全電源が落ちるようにして安全を確保したものである。本車両は、運転手が後部の乗客と楽に会話ができるように、キャブ後部の窓ガラスは撤去してあるため、外から容易にキャブの中に侵入することができてしまうため、主電源には鍵付きのスイッチを取り付けたものである。なお、主電源を切っても、ソーラーパネルによるバッテリーへの充電は行えるようにしてあるので、駐車中に、運転手が車両から離れていても安全上の問題はない。



写真 8 アクセルペダル 写真 9 主電源

走行するためには、通常の車のキー操作と同じく、キーシリンダにキーを差し込み、右回りに1段目がアクセサリ、2段目が走行位置とした。前進するためにはセレクトSWをD、後退させるためにはRの位置に切り替えることにより行う。なお、いずれの場合でも、駐車ブレーキがかかっている場合には車両は動かないように回路を構成してあり、前進時にセレクトSWを切り替えた時及び、ヘッドライトの操作レバーをパッシング位置に切り替えた後には、音声警報装置が作動し「すみません車が通ります」というメッセージが流れ、後退時には同様に「バックしますご注意ください」というメッセージが流れるようにしてある。

コンビメータ周りは、オリジナルのメータから計器類を取り外したのち、写真10に示すように各表示装置を新規に作り直してある。左側にはデジタル式速度計、中央にはバッテリー残量系並びに走行時間を記録するアワーメータ(0.1時間刻み)右側にはソーラー発電電圧計を二つ取り付けた。ソーラー発電は、前述したように主電源を落とした状態でもバッテリーに充電ができるようにソーラーパネル4枚を一組にして各々定格24Vの発電仕様にしてある。



写真 10 コンビメータ

ダッシュパネル中央下側のパネルには、今後取り付ける乗客用ドアの電磁ロック操作用ドアロックSWのほか、システムの電圧、電流などが表示できるマルチメータを備えた。

ルーフについては、曲率半径R-5000mmであるので、まず最初にR5000の木枠を作り、そこにベニヤ板を2枚重ねたのち、ソーラーパネルが収まる形状にもう一枚

ベニヤ板を重ね、外形及び雨どい部分などを作り、表面の凹凸をバリバテで修正したのち離型剤を塗って雌型とし、そこにFRPクロス4枚ハニカム1枚FRPクロス3枚を順に積層してルーフを製作した。ルーフの木枠を写真11に、完成した雌型を写真12に、制作したルーフを写真13に示す。

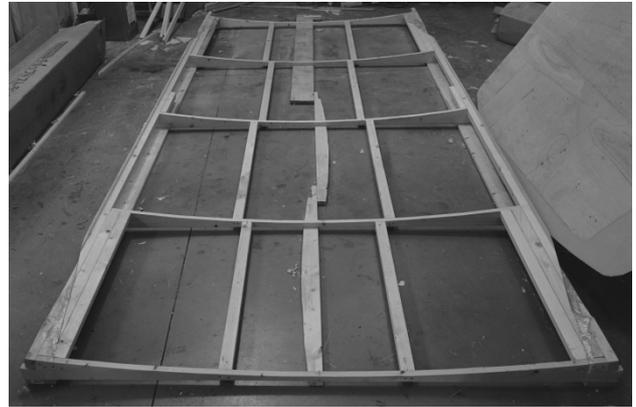


写真 11 ルーフ木枠



写真 12 完成した雌型



写真 13 完成したルーフ(穴は後加工)

ルーフの曲率が小さいため、間にハニカムを挟んでも単独では十分な強度及び剛性が確保できないため、ルーフにはこののち補強及び剛性向上のため木材を使用して補強のフレームを内側に取り付けた。その後上面にソーラーパネルを8枚接着しさらに電気配線を行った。また、見栄えを向上させるために天井内側には内張を施した。

車両へのルーフ取り付けには、後部荷物室に角型鋼管

にて門型フレームを作りそれとキャブ後端の2か所で固定する方法とした。ルーフを搭載した状態の車両を写真14に示す。



写真14 ルーフ搭載状態

### Ⅲ 今後の課題

製作上でやり残した部分は、乗客用ドアの電磁ロック部分と、車両全体の塗装作業となったので、5月末までにあすたむらんどに引き渡しができるように作業を進めてゆく。

車両の全体塗装については、学生や、職員の子供たちの意見を参考に、太陽、青空、白い雲及び虹をモチーフに案を作成し、あすたむらんど職員（女性含む）の意見を聞いて最終案を検討中であり、概略写真15に示すようなものに落ち着くと考えている。



写真15 車両外観イメージ

また、車両としての性能確認がまだ十分には行えていないので、あすたむらんど定休日（水曜日かつ晴天時）に園内にて各種測定実験を行うことが残された課題である。

### Ⅴ あとがき

本年度内の完成を目指していたがかなわなかった要因は何といても工数不足である。

その中で、自主的に作業を手伝ってくれた学生（とも

に1年次のレーティ・ハイさん、馬代晃宏君）がいたことはうれしい限りであった。学生が教員の研究の手伝いをするのが継続的に続くように教員側からも学生にアプローチするなり、そういった環境並びに雰囲気を整備することが重要と感じている。

### 参考文献

- (1) 福栄堅治, 島田清, 近藤嘉宏, 河井教馬: 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一三三号) 第3節階段 第23条
- (3) 島田清, あすたむらんどの研究開発 (その1), 徳島工業短期大学紀要 Vol.19 p.35-38 (2015)
- (4) 島田清他, あすたむらんどの研究開発 (その2), 徳島工業短期大学紀要 Vol.20 p.5-8 (2016)

# スロットル・ポジション・センサ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, ダイアグ・ノーシス・コード, 故障診断, 教材

## I まえがき

今回の装置は、昨年度に製作した故障診断装置のフェューエル・ポンプ電子回路に引き続くもので、個別異常発生装置により発生させた異常状態を電位測定により故障診断を行なうものである。

一級自動車整備士国家試験において、スロットル・ポジション・センサに関する故障診断の問題は、ほぼ毎年のように出題されている。出題は、故障診断の章のエンジンと電子制御式 AT の両方の分野で出されており、エンジンの分野では、エンジン ECU 回路にプルダウン抵抗が使用されているが、電子制御式 AT の分野では、AT・ECU 回路にプルアップ抵抗が使用されている例が見られる。

スロットル・ポジション・センサは、リニア信号センサの一つであり、ECU は入力した信号値が上限の閾値をアップエッジしたとき、または下限の閾値をダウンエッジしたときに異常検知を行ない、ダイアグ・ノーシス・コードを出力する。

国家試験の問題は、「スロットル・ポジション・センサの異常を示すダイアグ・ノーシス・コードが表示された。全ての回路が接続された状態とセンサ信号線を外した状態のときの電位の点検結果から、適切な不具合原因を選択させる」というのが一般的な出題例である。

このスロットル・ポジション・センサ電子回路は、抵抗だけで構成されている簡単な回路であり、短絡や断線などの異常が発生したときの各電位値は比較的簡単に求められる。しかし、各端子の測定電位値を基に異常原因を推定する場合には、異常ケース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。さらに、複数の異常原因の中から特定するには、センサ信号線のほか、アース線などを外し導通や電位を確認しながら進めていく必要がある。

スロットル・ポジション・センサ電子回路において、異常を発生させ、その不具合の原因を各端子の電位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、故障原因を特定する診断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、スロットル・ポジション・センサとしての変可抵抗と ECU 内の固定抵抗だけで構成されているが、製作した装置では、ECU 内の抵抗がプルダウンとプルアップの 2 つの回路に対応できるように切替 SW を取り付けている。プルアップ抵抗の場合の回路の表示は、パネル上にマグネット板を取り付けることで変更できるようにしている。

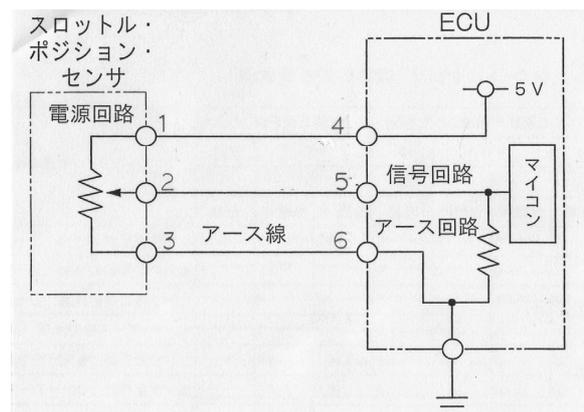


図 1 スロットル・ポジション・センサ電子回路図

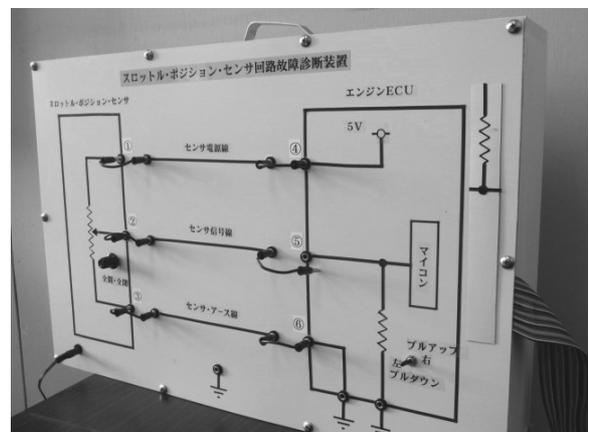


図 2 スロットル・ポジション・センサ電子回路故障診断装置のパネル部

各端子は測定時に識別しやすくするため、図1のように1~6の番号を割り当てている。また、ECUやセンサを通信接続線から切り離せるようプラグ配線をしている。

スロットル・ポジション・センサの全閉時は約0.5v、全開時は約4.5vが信号値として入力されるようにしている。図2が装置のパネル部である。

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。15種類の異常状態を発生させるSWで構成している。個別異常発生装置と本体装置間は、フラットケーブルで接続している。



図3 個別異常発生装置のパネル部

## 2. 電子回路の動作

スロットル・ポジション・センサ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、下記のケース1からケース15の異常が発生できる。ケース1からケース6は通信接続線の異常、ケース7からケース11はセンサ内の異常、ケース12からケース15はECU内の異常に分類される。

- ケース1：センサ信号線（②-⑤間）の断線
- ケース2：センサ信号線（②-⑤間）の地絡
- ケース3：センサ電源線（①-④間）の断線
- ケース4：センサ・アース線（③-⑥間）の断線
- ケース5：センサ電源線とセンサ信号線の短絡
- ケース6：センサ信号線とセンサ・アース線の短絡
- ケース7：センサ内の接点不良，信号線断線
- ケース8：センサ内の電源線と信号線との短絡
- ケース9：センサ内のアース線の断線
- ケース10：センサ内の電源線の断線

ケース11：センサ内の信号線の地絡

ケース12：ECU内の電源線と信号線の短絡

ケース13：ECU内のセンサ信号線の断線

ケース14：ECU内のアース系統の不良・断線

ケース15：ECU内の信号線の地絡

## III 故障診断

### 1. プルダウン抵抗時

全ての回路が接続された状態のとき、図4のように端子1での測定をV1、端子5での測定をV2、端子3での測定をV3とする。

センサ信号線を外した状態のとき、図5のように端子2での測定をV4、端子5での測定をV5とする。

プルダウン抵抗のときの各ケースにおけるV1からV5の電位は、表1のとおりである。

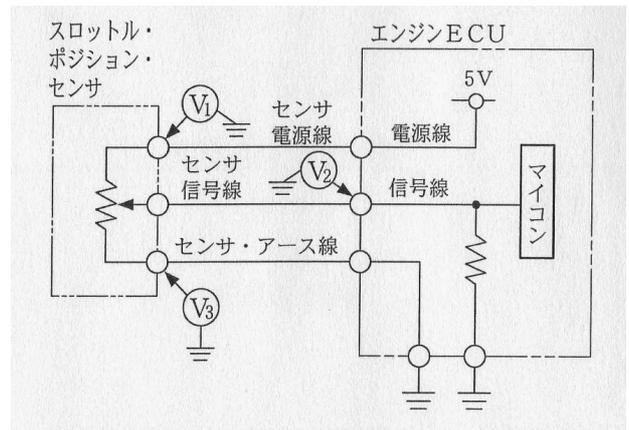


図4 全ての回路が接続された状態での測定  
(プルダウン抵抗)

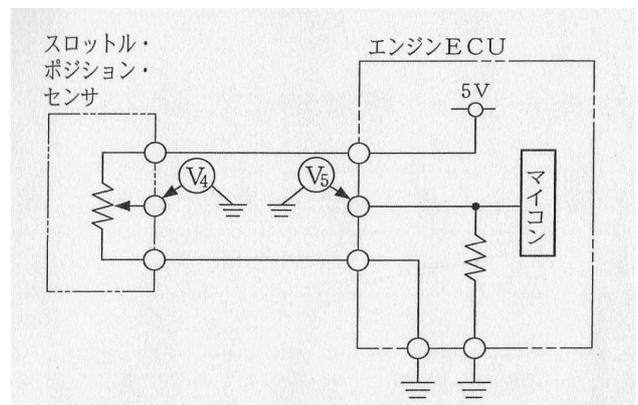


図5 センサ信号線を外した状態で測定  
(プルダウン抵抗)

表1 不具合箇所発生時の電位表（プルダウン抵抗）

スロットル・ポジション・センサ回路 不具合箇所発生時の電位表1(プルダウン抵抗)									
測定状態	すべての回路が接続された状態				センサ信号線を外した状態			不具合箇所	
電位測定	V1	V2		V3	V4		V5		
測定部位	①	⑤		③	②		⑥		
スロットルバルブ	任意	全閉時	全開時	任意	全閉時	全開時	任意		
ケース1	5	0	0	0	0.5	4.5	0		センサ信号線(②-⑥間)の断線
ケース2	5	0	0	0	0.5	4.5	0	センサ信号線(②-⑥間)の地絡	
ケース3	0	0	0	0	0	0	0	センサ電源線(①-④間)の断線	
ケース4	5	5	5	5	5	5	0	センサ・アース線(③-⑥間)の断線	
ケース5	5	5	5	0	0.5	4.5	0	センサ電源線とセンサ信号線の短絡	
ケース6	5	0	0	0	0.5	4.5	0	センサ信号線とセンサアース線の短絡	
ケース7	5	0	0	0	0	0	0	センサ内の接点不良、信号線断線	
ケース8	5	5	5	0	5	5	0	センサ内の電源線と信号線との短絡	
ケース9	5	5	5	0	5	5	0	センサ内のアース線の断線	
ケース10	5	0	0	0	0	0	0	センサ内の電源線の断線	
ケース11	5	0	0	0	0	0	0	センサ内の信号線の地絡	
ケース12	5	5	5	0	0.5	4.5	5	ECU内の電源線と信号線の短絡	
ケース13	5	0.5	4.5	0	0.5	4.5	0	ECU内のセンサ信号線の断線	
ケース14	5	5	5	5	5	5	0	ECU内のアース系統の不良・断線	
ケース15	5	0	0	0	0.5	4.5	0	ECU内の信号線の地絡	
正常のとき	5	0.5	4.5	0	0.5	4.5	0	異常なし	

単位:v

表2 不具合箇所発生時の電位表（プリアップ抵抗）

スロットル・ポジション・センサ回路 不具合箇所発生時の電位表2(プリアップ抵抗)									
測定状態	すべての回路が接続された状態				センサ信号線を外した状態			不具合箇所	
電位測定	V1	V2		V3	V4		V5		
測定部位	①	⑤		③	②		⑥		
スロットルバルブ	任意	全閉時	全開時	任意	全閉時	全開時	任意		
ケース1	5	5	5	0	0.5	4.5	5		センサ信号線(②-⑥間)の断線
ケース2	5	0	0	0	0.5	4.5	5	センサ信号線(②-⑥間)の地絡	
ケース3	0	0	0	0	0	0	5	センサ電源線(①-④間)の断線	
ケース4	5	5	5	5	5	5	5	センサ・アース線(③-⑥間)の断線	
ケース5	5	5	5	0	0.5	4.5	5	センサ電源線とセンサ信号線の短絡	
ケース6	5	0	0	0	0.5	4.5	5	センサ信号線とセンサアース線の短絡	
ケース7	5	5	5	0	0	0	5	センサ内の接点不良、信号線断線	
ケース8	5	5	5	0	5	5	5	センサ内の電源線と信号線との短絡	
ケース9	5	5	5	0	5	5	5	センサ内のアース線の断線	
ケース10	5	0	0	0	0	0	5	センサ内の電源線の断線	
ケース11	5	0	0	0	0	0	5	センサ内の信号線の地絡	
ケース12	5	5	5	0	0.5	4.5	5	ECU内の電源線と信号線の短絡	
ケース13	5	0.5	4.5	0	0.5	4.5	0	ECU内のセンサ信号線の断線	
ケース14	5	5	5	5	5	5	5	ECU内のアース系統の不良・断線	
ケース15	5	0	0	0	0.5	4.5	0	ECU内の信号線の地絡	
正常のとき	5	0.5	4.5	0	0.5	4.5	5	異常なし	

単位:v

## 2. プルアップ抵抗時

ECU 内の抵抗がプルアップ抵抗のとき、全ての回路が接続された状態での測定は図 6 であり、V1 から V3 の測定はプルダウン抵抗時と同様である。また、V4、V5 の測定も同様である。プルアップ時の各ケースにおける V1 から V5 の電位は、表 2 のとおりである。

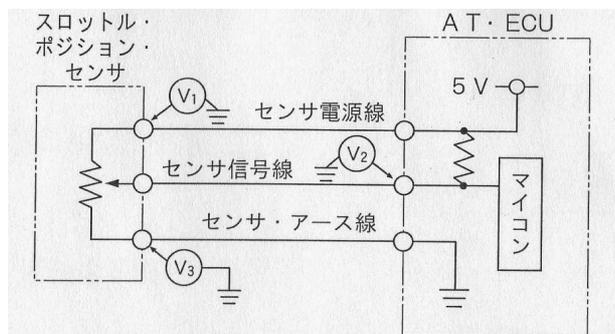


図 6 全ての回路が接続された状態での測定  
(プルアップ抵抗)

### IV. 異常原因の特定

表 1、表 2 では、同じ電位のパターンが複数生じている。さらに、不具合の箇所を特定するには次の作業が必要になる。その一例を示す。

#### 1. プルダウン抵抗時

##### ①ケース 4, ケース 14

全ての回路が接続された状態で端子 6 を測定する。ケース 4 は 0v, ケース 14 は 5v を表示する。

##### ②ケース 7, ケース 10, ケース 11

センサを外し端子 1, 端子 2 間の抵抗を測定する。ケース 11 は抵抗値を表示し、他のケースは無限大になる。

同様にセンサを外した状態で端子 1, 端子 3 間の抵抗を測定する。ケース 10 は無限大、他のケースは抵抗値を表示する。

##### ③ケース 8, ケース 9

センサを外し端子 1, 端子 2 間の抵抗を測定する。ケース 8 は 0 オーム、ケース 9 は抵抗値を表示する。

##### ④ケース 1, ケース 2, ケース 6, ケース 15

端子 5 を外しセンサ信号線の ECU 側端子を測定する。ケース 15 は正常値を表示する。他のケースは 0v になる。

同じ状態で端子 2 を測定する。ケース 1 は正常値を表示する。他のケースは 0v を表示する。

さらに、端子 6 を外し端子 3 を測定する。ケース 2 は 0v, ケース 6 は 5v を表示する。

##### ⑤ケース 13, 正常時

電位のパターンは同じであるが、ケース 13 の場合はダイアグ・ノース・コードが出力される。

## 2. プルアップ抵抗時

##### ①ケース 4, ケース 14

全ての回路が接続された状態で端子 6 を測定する。ケース 4 は 0v, ケース 14 は 5v を表示する。

##### ②ケース 2, ケース 6

端子 6 を外し端子 2 で測定する。ケース 2 は 0v, ケース 6 は 5v を表示する。

##### ③ケース 1, ケース 5, ケース 12

全ての回路が接続された状態で端子 2 を測定する。ケース 1 は正常値を表示する。他のケースは 5v を表示する。

端子 5 を外し端子 2 を測定する。ケース 5 は 5v, ケース 12 は正常値を表示する。

##### ④ケース 8, ケース 9

センサを外し端子 1, 端子 2 間の抵抗値を測定する。ケース 8 は 0 オーム、ケース 9 は抵抗値を表示する。

##### ⑤ケース 10, ケース 11

センサを外し端子 1, 端子 2 間の抵抗値を測定する。ケース 10 は無限大、ケース 11 は抵抗値を表示する。

### V あとがき

今回の故障診断装置は、ECU への入力信号が 0v あるいは 5v に近い電圧値には異常検出を行なう一般的なリニア・センサ回路であるため、故障診断として国家試験では多く出題されている。

前作の装置と同様に、専攻科生には故障診断の入門に適した教材であり、本科生にとっても電気回路の電流の流れなどを理解するのに役立つものと考えられる。

個別異常発生装置で、センサや ECU、通信接続線において、断線や短絡などの不具合が生じた状態を、各端子の電位測定により原因を特定していく作業をとおして論理的な思考力を育てたいと考える。

### 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

# エンジンのアイドリング不調(その2)

## — 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 中 真人

Keywords : 外部診断器,故障診断, データ・モニタ

### I はじめに

今回は、空気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 の制御状態の検証を行った。今回は、エア・フロ・メータにスポットを当ててみることにする。エア・フロ・メータは信号電圧が断線・短絡をしたときに、エンジン警告灯が点灯してエンジン ECU はフェイル・セーフ制御する。しかし、特性不良による不具合ではエンジン警告灯は点灯しない。一級専攻科の故障解析の実習において、アイドリング時におけるエア・フロ・メータの信号電圧を異常状態にして、不具合状況でのデータ・モニタ及びその時の ECU の制御、エンジン警告灯の点灯の有無等について検証を行った。

### II 車両と外部診断器

#### 1. 使用する車両

車名                   ニッサン ノート  
型式                   DBA-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 データ作成

#### 1. 正常時のデータ

最初にすべきことは、正常な状態での数値を把握することである。整備要領書をみればすぐにでもわかるけれど、それは参考値としてみてほしい。やはり、実車で確認するのが一番だと思う。表1・図1は暖機後のアイドリング状態での正常な主項目のデータである。表1のデータは、平均値・最小値・最大値であり、図1はそのグラフである。

表1 正常値の主な項目の数値

項目	値	単位	最小値	平均値	最大値
<input checked="" type="checkbox"/> 水温センサ	92	℃	81	90	98
<input checked="" type="checkbox"/> リアO2センサバンク1	0.33	V	0.28	0.32	0.33
<input checked="" type="checkbox"/> 点火時期	6	BT...	1	6	13
<input checked="" type="checkbox"/> エンジン回転数	700	rpm	638	688	725
<input checked="" type="checkbox"/> エアフロメータバンク1	1.07	V	1.04	1.08	1.16
<input checked="" type="checkbox"/> 噴射パルス幅バンク1	2.4	ms	2.2	2.4	2.8
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ1	0.62	V	0.61	0.62	0.78
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ2	0.64	V	0.57	0.63	0.66

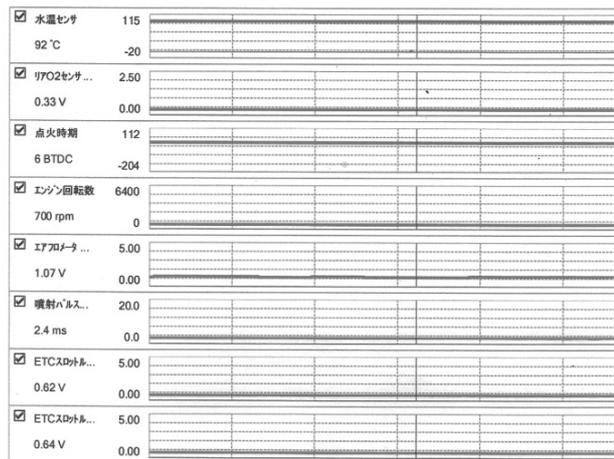


図1 正常時

#### 2. エア・フロ・メータ信号電圧 0V

このデータは、エア・フロ・メータの信号電圧を正常電圧から 0V にした時の状況である。信号電圧 0V が、いきなり入力すれば、エンストする確率が高いのであるが、無負荷状態であったのでエンストは免れた。ECU はエア・フロ・メータの信号電圧が 1.1V から 0V になった時、異常を検知してエンジン警告灯を点灯させてフェイル・セーフ制御を行っている。検知した直後、エンジン回転数はかなり低くなったのでインジェクターの噴射パルス幅を急激に増している、燃料が増えた為エンジン回転数は上がり、そして徐々にアイドル回転数をフェイル・セーフ制御の目標値に近づいていっている。(表2・図2)

表2 エア・フロ・メータ信号電圧 0V

項目	値	単位	最小値	平均値	最大値
<input checked="" type="checkbox"/> 水温センサ	96	°C	94	95	97
<input checked="" type="checkbox"/> リアO2センサバンク1	0.98	V	0.01	0.86	0.99
<input checked="" type="checkbox"/> 点火時期	7	BT...	-13	6	26
<input checked="" type="checkbox"/> エンジン回転数	850	rpm	213	788	2338
<input checked="" type="checkbox"/> エアフロメータバンク1	0.00	V	0.00	0.69	1.11
<input checked="" type="checkbox"/> 噴射パルス幅バンク1	3.3	ms	2.4	3.0	10.2
<input checked="" type="checkbox"/> ETCアクセルセンサ1	0.75	V	0.75	0.75	1.24
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ2	0.68	V	0.64	0.66	1.09

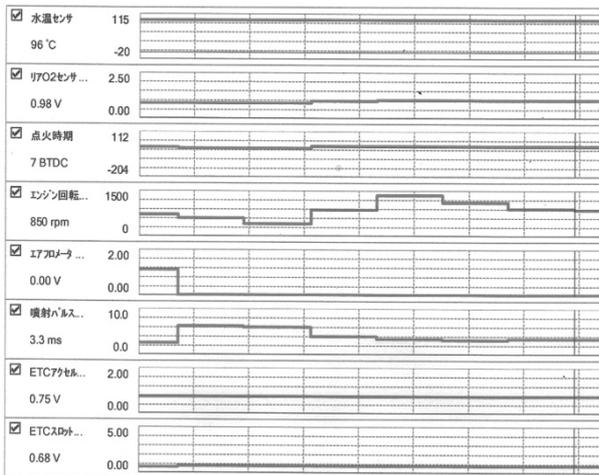


図2 エア・フロ・メータ信号電圧 0V

3. エア・フロ・メータ信号電圧 0.8V 時

エア・フロ・メータの信号電圧を、0.8V あたりに設定した時の状態である、吸入空気量が低いこの状態ではアイドル回転が非常に不安定になっている。O<sub>2</sub>センサの信号電圧は、測定値 0.27V で平均値でも 0.27V と反転状態がみられない。インジェクターの噴射パルス幅は最大 6.1ms まで記録している。最後はアイドル状態を維持できなくなりエンストに至った。再始動性はよくない (表3・図3)

表3 エア・フロ・メータ信号電圧 0.8V 時

項目	値	単位	最小値	平均値	最大値
<input checked="" type="checkbox"/> 水温センサ	93	°C	93	93	93
<input checked="" type="checkbox"/> リアO2センサバンク1	0.28	V	0.27	0.27	0.29
<input checked="" type="checkbox"/> 点火時期	10	BT...	4	71	112
<input checked="" type="checkbox"/> エンジン回転数	400	rpm	0	250	713
<input checked="" type="checkbox"/> エアフロメータバンク1	0.85	V	0.25	0.55	1.11
<input checked="" type="checkbox"/> 噴射パルス幅バンク1	3.0	ms	2.2	4.7	6.1
<input checked="" type="checkbox"/> ETCアクセルセンサ1	0.75	V	0.75	0.75	0.75
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ1	0.74	V	0.63	0.72	0.78
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ2	0.75	V	0.64	0.74	0.80

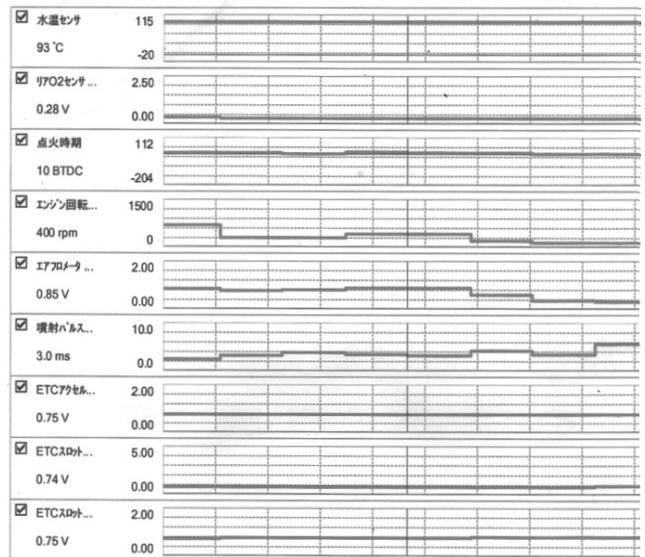


図3 エア・フロ・メータ信号電圧 0.8V 時

また、エンストしたけれどもエンジン警告灯は点灯しなかった。しかし、ECUは「ISV SV」の異常ということを記録している。つまりアイドルリングを何とか維持しようとしたができなかったということである。

4. エア・フロ・メータ信号電圧 1.2V~1.3V.時

エア・フロ・メータ信号電圧を正常時 (1.1V) より少し高めにしてみたのが、表4のデータと図4のグラフである。アイドル回転がばらついて不安定な状態が見て取れる。(エンジン回転数 最小値 538rpm, 最大値 1088rpm) 噴射パルス幅は少し大きくなっている。不調状態であるが、ECUは異常検知をおこなっていない。

(表4・図4)

表4 エア・フロ・メータ信号電圧 1.2V~1.3V.

項目	値	単位	最小値	平均値	最大値
<input checked="" type="checkbox"/> 水温センサ	91	°C	89	89	91
<input checked="" type="checkbox"/> リアO2センサバンク1	0.01	V	0.01	0.18	0.83
<input checked="" type="checkbox"/> 点火時期	9	BT...	-4	2	13
<input checked="" type="checkbox"/> エンジン回転数	713	rpm	538	738	1088
<input checked="" type="checkbox"/> エアフロメータバンク1	1.22	V	0.83	1.07	1.26
<input checked="" type="checkbox"/> 噴射パルス幅バンク1	3.0	ms	2.1	2.6	4.0
<input checked="" type="checkbox"/> ETCアクセルセンサ1	0.76	V	0.76	0.76	0.77
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ1	0.75	V	0.62	0.67	0.75
<input checked="" type="checkbox"/> ETCスロットルセンサ2	0.76	V	0.63	0.68	0.76

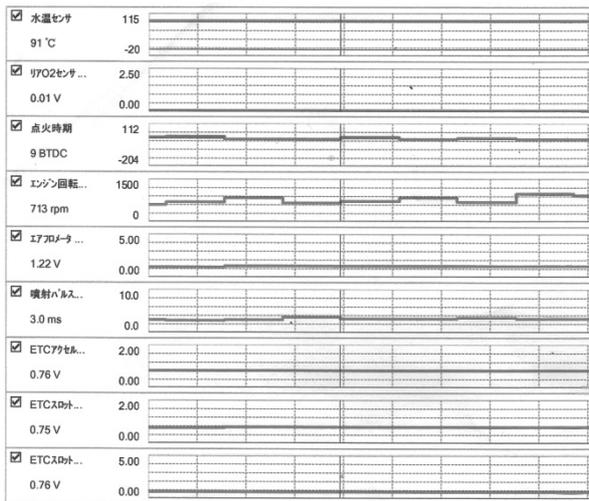


図4 エア・フロ・メータ信号電圧 1.2V~1.3V.

### 5. エア・フロ・メータ信号電圧 1.3V時

アイドル状態で、エア・フロ・メータ信号電圧 1.3V.あたりに設定すると、かなりひどい状態になっている。でも、ECU は異常を検出していない。

表5 エア・フロ・メータ信号電圧 1.3V.

項目	値	単位	最小値	平均値	最大値
水溫センサ	94	°C	93	93	94
リアO2センサバンク1	0.36	V	0.36	0.36	0.37
点火時期	-4	BT...	-6	6	10
エンジン回転数	675	rpm	313	875	1500
エアフロメータバンク1	1.34	V	1.13	1.22	1.41
噴射パルス幅バンク1	4.6	ms	3.3	3.7	6.9
ETCアクセルセンサ1	0.76	V	0.76	0.76	0.76
ETCスロットルセンサ1	0.69	V	0.64	0.65	0.72
ETCスロットルセンサ2	0.71	V	0.65	0.68	0.74

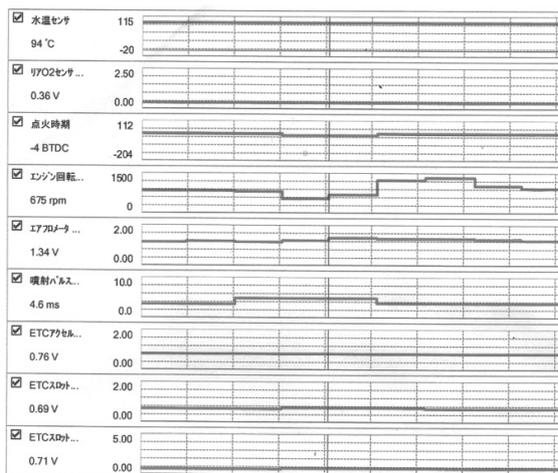


図5 エア・フロ・メータ信号電圧 1.3V.

アイドル回転は、最小値 313rpm, 最大値 1500rpm を記録して平均 875rpm と正常値 (目標回転数 700rpm) から大きくずれている。噴射パルス幅もトリガ位置で

4.6ms と高くとなっている。(表 5, 図 5)

## IV 考察

エア・フロ・メータの信号電圧を 0V に設定した時は、エンジン警告灯は点灯してフェイル・セーフ制御状態になった。信号電圧 0.8V に設定時の ECU の制御は、噴射量を増加しスロットル・バルブを開きアイドルの維持に努めているが、最後にはエンストしてしまう。その時の自己診断での記録は「ISV SV」と表示された。信号電圧 1.2V~1.3V.及び 1.3V.に設定時は、正常値より高い信号電圧を入力しているの、噴射量は増加されエンジン回転が上昇している。その後、ECU のアイドル回転数制御によりエンジン回転は下がられるが、信号電圧は高いまま状態であるので、またエンジン回転が上昇する。といった制御を繰り返しエンジン回転は安定しない状態が続く、ECU は異常を検出していない

このように、エア・フロ・メータの特性不良原因によるアイドル不調の故障診断の異常検出コードは、エンストすれば何等かの表示はあるが、エンストしなければ異常検出コードは表示されない。

## V おわりに

センサの形態によっては、自己診断の異常検出コードの表示は、ある場合と無しの場合とがある。故障の原因の究明をする時に検出コードの表示があれば、検出コードの系統を中心に絞り込んでいくことで解明できるが、検出コード無しの場合は、データ・モニタの情報から原因究明の手掛かりを探ることになる。

最後に、こういった検証を行うことによって学生には、推測する力、データを解析する力を養ってもらいたいと思う。

## 参考文献

- (1) ニッサン自動車：ノート整備要領書
- (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



# 自動車ホイール・アライメント教材の試作（第1報）

## － 教材試作計画に及ぼす近年の学生思考 －

徳島工業短期大学 花野 裕二

Keywords: ホイール・アライメント, 体験型, 視覚教材, 教育効果

### I まえがき

自動車のホイール・アライメント（以後、アライメントと称す）計測および調整整備においては、一般的に作業時間も短く正確に測定・調整ができる 4 輪ホイール・トータル・アライメント・テスタ（以後、アライメント・テスタと称す）が主流となっている。高性能サスペンションをもつ車輛整備には必要不可欠な測定機器と成りつつある。しかし、アライメント整備をこれから学ぼうとする入門者にとっては、当然のことながらアライメントに関する基礎知識は低く、アライメント・テスタを使用した実践的な整備作業となると、かなりの応用編であり未知の領域となる。指導側にとっても限られた授業カリキュラム内で、アライメントに関する知識を高め、アライメント計測を含む整備技術を向上させることは容易ではない。今回、アライメント学習(実習)における指導方法の見直しを図る目的から、本学一年生を対象にアライメント知識に関するアンケート調査を行った。アンケート調査結果より、問題点を見出し新たな教材作りを行うこととした。本報告では教材試作に向けての計画について報告する。

### II アライメント知識に関する学生アンケート調査

#### 1. アンケート調査

規定のカリキュラムに従いアライメントを終えた本学 1 年生 54 名を対象として、学習理解度の調査を行うため、下記に示す項目(設問 1 から設問 6)でアンケート実施した。

基礎①	設問 1	アライメントとは何か(言葉の意味がわかる)
	設問 2	角度図と角度名が一致する(質問に答える)
基礎②	設問 3	実車輛による角度設定箇所と角度名が一致する
	設問 4	角度の取付け目的(役割)がわかる
応用偏	設問 5	実車輛による計測ができる
	設問 6	不具合車両の調整整備ができる

図 1 アンケート設問内容

設問の各項目は授業時の指導順と同様である。アンケート各設問は 3 段階に分類し、図 1 に示す設問 1, 設問 2 をアライメント基礎的学習(以後、基礎①と称す)とする。設問 3, 設問 4 をアライメント基礎的学習(以後、基礎②と称

す)とする。設問 5, 設問 6 をアライメント応用的学習(以後、応用偏と称す)とする。本アンケートでは、それぞれの設問に対し 4 段階(思う, やや思う, あまり思わない, 思わない)から自分の回答に最も近い選択肢を選ぶ形式とした。

なお、本アンケートでは「思う」と「やや思う」を肯定的回答とした。図 1 にアンケート設問内容を示す。

#### 2. アンケート集計結果

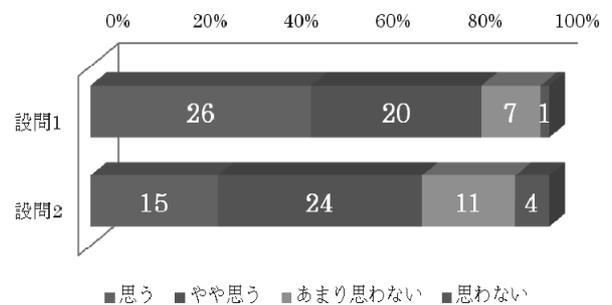


図 2 基礎①アンケート結果

1) 基礎①の学生アンケート調査結果を示す(図 2)。

設問 1 は、ホイール・アライメント学習初期段階に記載(自動車シャシ教科書)された言葉の意味およびアライメント調整の必要性についての回答となる。肯定の「思う」は 48%、「やや思う」は 37%であり、全体の 85%と比較的高い割合であった。設問 2 では、設問 1 に関連しアライメント設定角度の種類について角度名と角度図を学習し言葉で答えることができるか否かについての回答となる。肯定の「思う」は 28%、「やや思う」は 45%であり、73%の割合であった。基礎①では、座学による学習が中心となる。

2) 基礎②の学生アンケート調査結果を示す(図 3)。

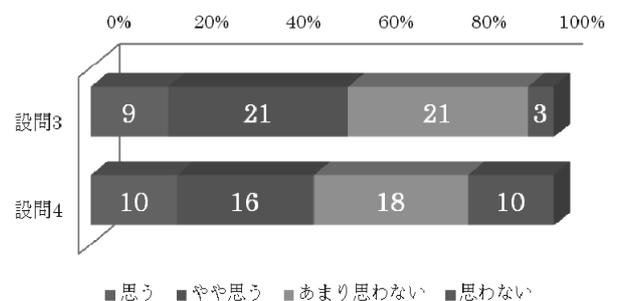


図 3 基礎②アンケート結果

設問 3 では、設問 2 に関連し学習したアライメント角度名称と実車輛を照らし合わせ、一致するか否かについての回答となる。肯定の「思う」は 17%、「やや思う」は 39%であり、対象学生の約半数 56%の割合であった。この設問は、結果的に基礎演習問題へ繋がるものであり、授業以外に数時間の自主学習が必要となる項目である。

設問 4 は、自動車に設定されたアライメント角度の個々の取り付け目的と連携した役割に関する知識を高めることができたか否かの回答となる。肯定の「思う」は 18%、「やや思う」は 30%であり、対象学生の半数以下の 48%の割合であった。

### 3) 応用偏の学生アンケート調査結果を示す(図 4)。

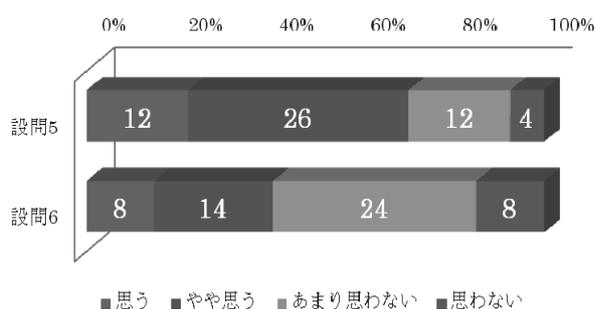


図 4 応用偏アンケート結果

設問 5 は、実車両を使用したアライメント測定方法について理解度を示す回答である。肯定の「思う」は 22%、「やや思う」は 48%であり、73%と高い割合である。使用機器ではキャンバ キャスタ キングピンゲージ(以後、CCK ゲージと称す) およびアライメント・テストを使用し実車両による計測を行うものである。

設問 6 は、アライメント不具合車輛の調整・修理する知識が身についているか否かについての回答となる。この設問は、現在持っている自分自身(単独作業)の知識で、実車輛のアライメント整備に対応できるか否かを想定させ回答したものである。肯定の「思う」は 15%、「やや思う」は 26%であり、41%の割合であった。

### 3. アンケート結果の考察

基礎①(図 2)では、教科書およびアライメント模型による座学(講義 4H)が中心となる。アライメント項目の授業始まりとなる初回では、授業内容に対して緊張感を持って取り組む姿勢があり、集中力が発揮されている。

自動車構成品のなかでもタイヤおよびサスペンションなどの足廻り機構や構造については、興味を示す学生が比較的多いことである。その理由の一つに、自動車レース(学内クラブで実施)への参加や走行体験から、性能を求めるため技術的な面より知識を得ようとする場合が考えられる。また、自動車部品の交換や取り付けを楽しむことを目的とした、ファッション的な感覚から興味を持つ場合なども考えられる。考え方は二分するが、いずれにせよ興味を持ち授業に集中して取り組んでいることが

伺える。基礎②(図 3)は、アライメント角度名と設定箇所の理解度となる。演習問題の実施による学習方法と実車輛を用いた確認作業となる。この時点から、学生の理解度バラツキが生じてくる。

学生に聞き取り調査をしたところ、アライメント角度名とその役割が入り乱れる形となり混乱しているようである。基礎①から基礎②へと講義時間が続くことから、座学による集中力を持続させることを難しくしているようである。また、実車輛による場所確認では、教科書記載図に表されたような明確な角度とは異なり、微妙な角度の位置関係となりわかり辛いことも影響しているようである。

応用偏(図 4)では、実車輛を使用し計測方法および故障原因探求を中心に学習を行う。計測機器は、CCK ゲージとアライメント・テストとなる。CCK ゲージによる計測では、グループ(1 グループ: 3~4 人)に車輛 1 台を準備し、マニュアルを参照し計測練習を反復させる。反復練習は 1.5H 程度行い計測手順および方法を覚えさせる、グループ作業により仲間と共に研究しながら作業が進み、計測方法と手順についての理解度は向上してきているようである。

反復練習終了後には、一連の計測作業を時間内に終了させる実技試験を行うものである。実車輛を用いた作業となる CCK ゲージやアライメント・テストの計測機器取り扱いには興味を持ち高い割合で計測方法が理解できている。しかし、現状の実習では限定された車輛(実習教材車輛)による計測や調整作業に留まることとなる。したがって、異なったサスペンション機構を持つ車輛については、調整整備における想定ができず不安となり、単独作業となるとなおさら自信が持てなくなるようである。

## III 問題点の見直しと教材構想

アンケート結果より、授業初回となる基礎①に見られた集中力は基礎②の段階で減少し、学習理解度に影響をきたしている。この基礎②での学習段階において、アライメント角の全体構成が確認できる教材を使用し、視覚確認をさせながら学習することが好ましいと考えられる。

応用偏のなかで実習車輛による測定作業では、積極的に取り組み学習意欲を持つ学生が多い。しかし、教材として準備された実習車輛以外のサスペンション機構を持つ車輛や調整機能を持たない車輛の場合には、対応車種の構成図を参照した講義が中心となり、講義時間が長くなることで結果的に学習効果は低下することとなる。

以上の問題点より、現状の実習教育における学習方法を見直し、学生の集中力を低下させない学習方法として新たなアライメント教材製作について計画を行った。教材構想については、以下に示す要素を含むものとした。

1. 講義に実習動作を併用させた教材とする
2. アライメント機構について部分的な作用を示すのではなく、実車輛と同様に総括的な観点より思

考や判断が可能な4輪車輛型シミュレータ(以後、4ASと称す)とする。

3. アライメント教育に既存する設定角度について、角度調整ができ、角度の変更時には、その動き量が視覚的に確認できる形状とする。
4. 市販の計測機器により計測が可能な構造とする。
5. 試験走行が可能な体験型モデルとする。
6. 不具合状態の設定が再現でき、故障探求学習に活用できる構造とする。

#### IV 教材構想による4ASの基本構成

##### 1. サスペンション構成

ホイール・アライメントでは、キング・ピンやナックルといった構成部品の名称が広く用いられるように、サスペンションやステアリング装置の取り付け状態と深く関連がある。製作においては、本来の自動車形状と極端にかけ離れたものではなく、教材として関連する構成部品が想定できる形状でなければならない<sup>1),2),3)</sup>。

4ASでは、サスペンションの基本構成を基とし、アライメント角度操作機構(調整機構含む)を設けた構造とする。図5に角度操作機構付きサスペンションの構想図を示す。

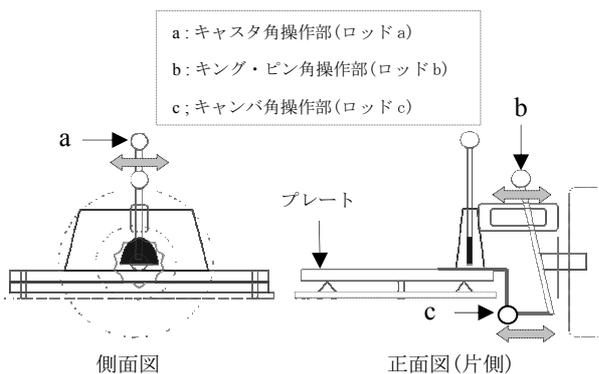


図5 サスペンション構想図

アライメント角度操作部として3箇所のロッドを取り付ける。アライメント角度(キャスタ角, キング・ピン角, キャンバ角)はこのロッドにより、タイヤの角度変更を操作できる構造(図5)とする<sup>4),5)</sup>。

学習時には各ロッドを矢印方向に手で操作するものとし、学生自身に体験させるものである。また、アライメント角度位置と角度名について強くイメージを与えられる教材とする目的より、あらゆる方向からの確認が容易となるよう視覚面を重視した構造とする。

この角度操作機構付きサスペンションは前輪および後輪の4箇所に設定することとする。

##### 2. フレーム構成

角度操作機構付きサスペンションを備えた、4ASの構想図を図6に示す。4ASは後輪を含めたトータル・アライメント学習を目指すものである。

車輛基盤となるフレーム(NO1・NO2)上には、前部Lプレートおよび後部Rプレートの左右2分割させたプレートを取り付けることとした。これは自動車を真上から見た場合の前輪車軸と後輪車軸の平行度合い(以後、セットバック角と称す)を再現させるものである。

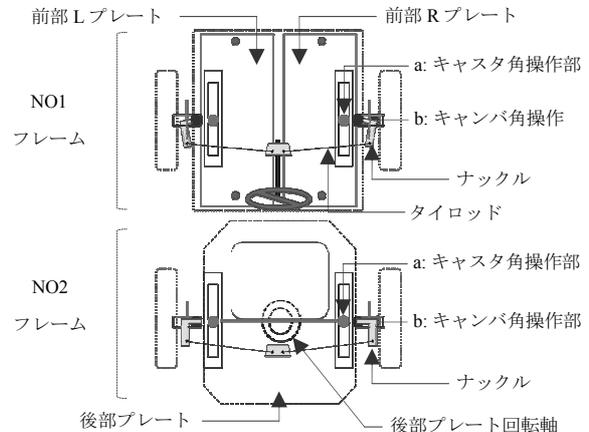


図6 4AS構想図

4ASでは前部Lプレートと前部Rプレートを操作し左右に異なったホイール・ベース( $A > B$ ,  $B < A$ )を設定させる構造とした。図7に前部Rプレートが進行方向に対し後方に下がっている場合を想定した4ASによるセットバック(一方方向にセットバック)設定(例)状態を示す<sup>6),7)</sup>。

試験車両の中心線と進行線との角度差であるスラスト角を表わす方法では、後部プレートの中心部に回転軸を設け、この回転軸により後部プレートの角度を変更させることとする。後部プレートと前輪のトー角設定と組み合わせることで車輛進行方向に対する前部プレートとの角度差を再現させることとする。図8にスラスト角設定(例)状態を示す。

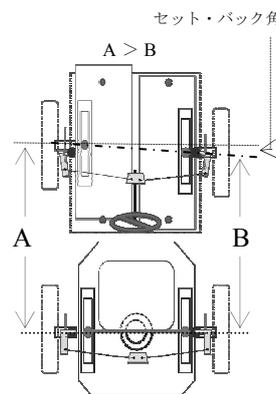


図7 セットバック設定(例)

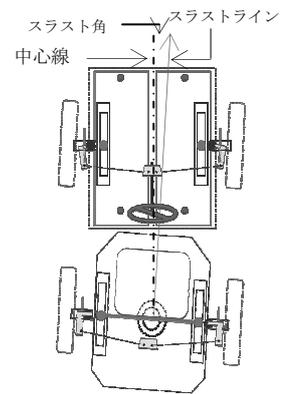


図8 スラスト角設定(例)

#### V 今後の課題

今回、学生の集中力を低下させない学習方法として4ASの製作に向けた構想計画をまとめた。4ASはアライメント機構において総括的な観点から学習をさせること

を目指す教材である。製作については教材構想に記述した各要素を組み込んだ機構が必要となることから、具体的な設計を進め製作に取りかかる計画である。

## VI まとめ

本研究では、アライメント学習における指導方法の見直しを図る目的より、受講学生にアライメント知識に関するアンケートを実施し、学生が目線に立った教材についての製作を目指し計画を行ったものである。

ホイール・アライメント学習では、一部分だけの理解では把握できない要素が多くあることから、部分的な模型教材による学習をしても、全体像が理解できていないことがある。また、学生間においても理解度にバラツキが見受けられることから、4ASの製作により効率良く早い段階でホイール・アライメント全体像での情報を受講学生に提供することで、理解につながり授業時の集中力を維持させることとなる。

## 謝辞

本教育研究は平成28年度の徳島工業短期大学学長裁量教育改革研究費により支援を受けたものである。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作，徳島工業短期大学紀要，Vol. 13，pp. 1-2 (2009)
- (2) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作 2，徳島工業短期大学紀要，Vol. 14，pp. 11-12 (2010)
- (3) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作 3，徳島工業短期大学紀要，Vol. 15，pp. 29-31 (2011)
- (4) 宇野高明：車両運動性能とシャシメカニズム，グランプリ出版 (1994)
- (5) 安部正人：自動車の運動と制御，山海堂 (2003)  
山岡丈夫：基礎からのホイール・アライメント，株式会社鉄道日本社 (2006)
- (6) 2級ガソリン自動車シャシ偏，日本自動車整備振興会 pp. 119-127

# 自動車整備士教育における基礎学力調査 数学 I について

徳島工業短期大学 村上和義

Keyword : 数学, 自動車整備士, 一般工学

## I まえがき

自動車整備士の資格を取得するためには、まず国家試験(筆記)に合格することが条件である。内容は自動車工学の要素であるエンジン、シャシ、法令そして一般工学の分野があり、それぞれの知識が要求される。また各分野には責任点があり、全体で高得点をとっても、一つの分野で責任点に達しなければ不合格となる。

一般工学の問題では、物理学をベースにした計算問題が出題されることが多いので、基本的には数学の計算能力が必要であることは言うまでもないことである。現在の教育制度は、2011 年度からの脱ゆとり教育や理数教育強化が叫ばれているが、まだまだゆとり世代の学生に対応した教育が必要であり、本学においても一般教養である数学、物理の基礎学力が十分でない学生に、それぞれ数学基礎、物理基礎の一般教育科目を設けて少人数教育を実施している。今回は、数学 I の教科を用いて単年度実績での学生の学力をみるより、複数年度の実績をみることで本学学生の基礎学力の把握ができると考え、またこれからも入学してくるゆとり教育世代の学生に対する教育指導に役立てるために、2013 年度より学力調査を行ったのでその内容を報告する。

## II 実施方法

数学 I を基礎学力調査科目に選んだ理由は、当初数学 I の選択科目教科を履修する学生は 60%程度であったが、翌年度は全体の 87%が受講しており、学生の基礎学力調査の実態把握に有効であると思われたので、試験データを基に調査を行った。先に述べた通り、本学は工学系の短期大学であり、必要最低限の理数教育として実施している。

試験の時期は、1 年前期末に実施している。

試験問題の内容は次の通りである。

- ① 計算問題 (10 問) (50 点)
- ② 等積問題 (1 問) (10 点)
- ③ 体積問題 (2 問) (20 点)
- ④ 反比例問題 (1 問) (20 点)

## III 試験結果

2013 年～2016 年まで実施した試験結果内容をま

とめた。ここでは、正解率 60%以上の者を合格者としている。

### 1) 数学 I 合格者割合 (表 1)

表 1

	2013	2014	2015	2016
合格率	59%	53%	55%	38%

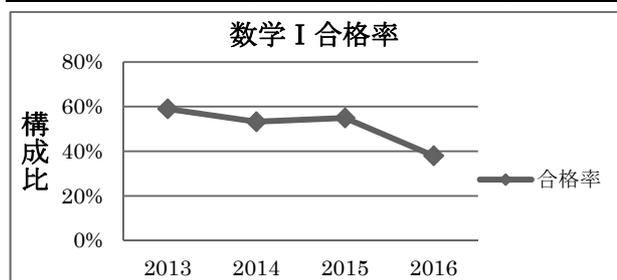


図 1 合格率

### 2) 正解率 (表 2)

表 2

	2013	2014	2015	2016
正解率(全)	59%	58%	61%	53%
合格者	73%	71%	77%	76%
不合格者	38%	42%	42%	38%

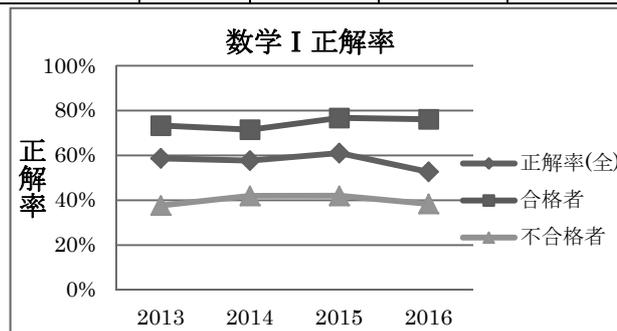


図 2 正解率

### 3) 問題別正解率 (表 3)

表 3

	2013	2014	2015	2016
計算	80%	83%	81%	74%
等積	10%	6%	10%	15%
体積	61%	58%	61%	48%
反比例	28%	21%	37%	23%

各表および図から課題点をあげていくと、表 1、図 1 から 2016 年の合格者の大幅な減が見てとれる。表 2、図 2 からは 2016 年の正解率の減が課題であり、また合格者と不合格者の 2 極化が拡大している。つまり、不合格者のレベルアップが 2015 年までできていたが、2016 年は低下している。

表 3 からは計算、体積、反比例問題の正解率の減が課題である。

#### IV 分析及び考察

表 3 を合格者と不合格者に分けて表してみると、

##### 1) 合格者の正解率 (表 4)

表 4

	2013	2014	2015	2016
計算	91%	91%	89%	91%
等積	13%	9%	17%	33%
体積	86%	86%	86%	80%
反比例	46%	38%	67%	57%

##### 2) 不合格者の正解率 (表 5)

表 5

	2013	2014	2015	2016
計算	64%	73%	71%	64%
等積	5%	2%	2%	5%
体積	25%	25%	31%	28%
反比例	2%	1%	1%	2%

表 4 及び表 5 をグラフで表すと次の通りである。

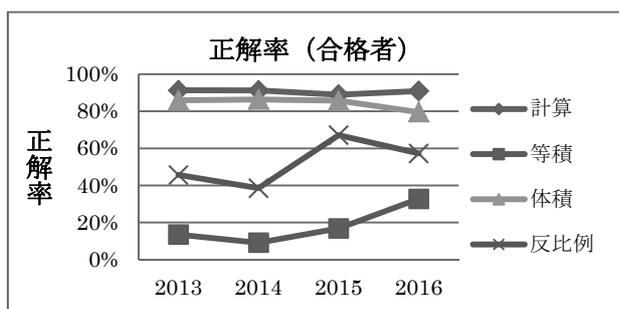


図 1 正解率 (合格者)

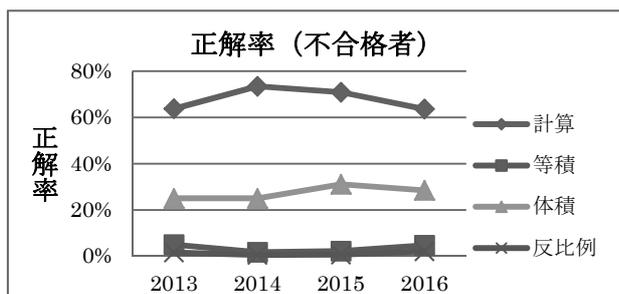


図 2 正解率 (不合格者)

合格者と不合格者を比較すると、体積、反比例問題正解率の差は、40~60%の開きがある。この要因の一つとして 0 点者の増減が推察されるので、0 点者の問題正解率割合を見てみると次の通りである。

##### 3) 正解率 (0 点者の割合) (表 6)

表 6

	2013	2014	2015	2016
計算	0%	0%	0%	0%
等積	85%	89%	84%	78%
体積	23%	26%	20%	33%
反比例	67%	71%	55%	76%

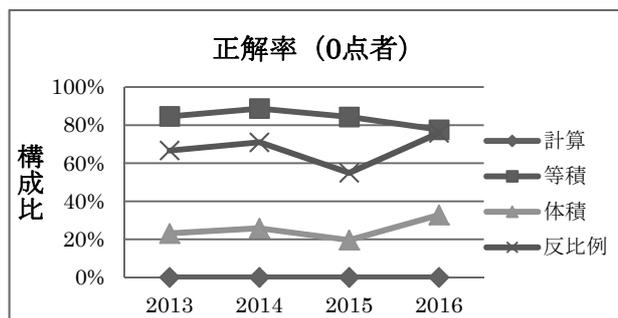


図 3 正解率 (0 点者の割合)

体積、反比例問題の 0 点者が増加している。以上のことをまとめると、計算問題は 8 割、体積問題は約 5~6 割の学生が理解しているが、反比例、等積問題を不得意としている。特に注目すべきは 2015 年度までは学生の学力差に大きな変化は見られないが、2016 年度では合格率の大幅な減になっており、次のことが確認された。

1. 不合格者の正解率の低下
2. 不合格者の計算問題正解率の低下
3. 合格者と不合格者の正解率の差が拡大  
特に体積 (52%)、反比例 (55%) の問題
4. 体積、反比例の正解率低下の要因として、0 点者の増加。それぞれ前年比 13%、21% 増。

#### V あとがき

残念ながら、2016 年度は不合格者の計算問題の正解率の低下と 0 点者の増加が大きな要因と考えられ、不合格者の要因としては、次のようなことが推察される。

1. 簡単な計算ミス、書き間違い等
2. 問題を理解できていない、解き方の間違い
3. 問題の文章を理解していない、読んでいない
4. 勉強していない

2の問題を理解していないについては、簡単な公式等を理解していない、あるいは覚えていない為、式が間違っている、あるいは式が書けない等である。3の問題の文章を理解していないは、1の簡単なミスで問題を十分読まないで問題を解いてしまう。つまり文章解釈を間違える、いわゆる“早とちり”とも考えられるが、問題なのは文章の理解ができていないことである。さらに深刻な問題は、勉強していない学生への指導であることを今後の検討課題としたい。



# 体験教育用電動レーシングカート改良報告（その1）

徳島工業短期大学 助道永次 島田清

Keywords：体験教育，啓発活動，Li-ion バッテリー

## I はじめに

公共交通機関のインフラ整備が乏しい地方，特にこの徳島県では，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ないことと考え，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

「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機会を与えることで，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，電動レーシングカート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，現在急速に普及したHVシステムや電気自動車への理解も深まると考えて実施している。

次のステップとして本報告では，自動車パワートレイン電動化に伴い進化している自動車用Li-ion二次電池を，この電動レーシングカートのバッテリーに採用し，その性能の向上度合を体験してもらい自動車に対する興味を喚起するのが目的である。

## III 走行試験方法

本学が現在使用している電動レーシングカートは，鉛バッテリーを4個搭載した48V仕様である。この鉛バッテリーをLi-ionバッテリーとすることにより車両重量を約40kg軽量することができるため，車両の運動性能は向上すると予測ができる。しかし，耐久性や持続性を評価する必要があるため，走行試験を実施することとした。

今回使用するバッテリーのスペックを表1に示す。それぞれのバッテリーを搭載したときの車両重量を表2に示す(図1)。



図1 車重測定

表1 使用したバッテリーのスペック

	電圧 (V)	電流 (Ah)	CCA (A)	重量 (kg)
 Pb	12	38 20時間放電率	460	12.7
 Li-ion	12	36 独自 PbEq 値	540	2.2

今回走行試験に設定したコースは，10 m 間隔にパイロンを置き，そのパイロンをスラロームして通過し，ターンして直線を出力全開で走る。単純に，運動性能と出力性能の体感比較ができるコース設定と考えた(図3)。この設定コース全長は約100 mである。このコース5周を1回として，3回のタイム計測を行い，その後は何週走行ができるかという耐久試験とした。タイム計測するドライバーを自動車工学専攻科1年M君(国内B級ライセンス保持)として，車両性能の違いを体感評価することとした(図2)。

表 2 車両重量と車両総重量, 荷重割合

	Pb 電動カート	Li-ion 電動カート
動力	48 V 2.8 kW D.C.ブラシモーター	48 V 2.8 kW D.C.ブラシモーター
出力	最大:16.8 kW	最大:16.8 kW
車重	141 kgf	97 kgf
総重量	210 kgf	166 kgf
軸荷重配分	F98 kgf R111 kgf	F 74 kgf R 93 kgf
R 荷重割合	53 %	56 %



写真 4 破損したバッテリー



図 2 走行試験

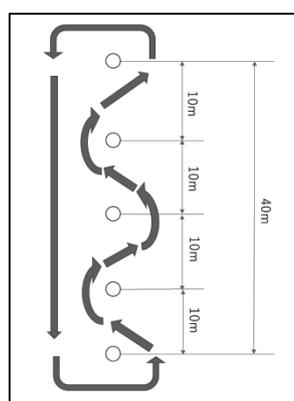


図 3 走行試験コース

#### IV 走行試験結果

表 3 に、走行試験の結果を示す。今回の試験方法で車両の総合性能を端的に示すものは、革新における結果の平均値ではなく、ベストラップタイムであると考え、その値を表の右側に示して比較を行った。また、後半の試験においては、走行直後のバッテリー電圧を測定してある。

結果は、予測通り Li-ion バッテリーを搭載して軽量化された電動レーシングカートの運動性能は向上されており、走行タイムが良くなっている。しかし、鉛バッテリーの走行周回数は 23 周に対して 15 周で走行ができなくなり、3 回のタイム計測で終了という結果であった。

3 日目の走行試験では、1 回目の 5 周を終えた時点で一つのバッテリー電圧は 10 V を下回っており、その状態で 6 週目に差し掛かったときに、そのバッテリーから白煙が吹き出して破損した。

走行試験をあと数回実施して走行データを取得したが、バッテリーが破損 (写真 4) したため終了とした。

表 3 走行試験結果

2月16日					
鉛バッテリー		1回目	2回目	3回目	best time
23周	1LAP (s)	15.77	15.28	13.51	<b>13.41</b>
	2LAP (s)	15.70	15.09	<b>13.41</b>	
	3LAP (s)	13.94	<b>13.53</b>	13.75	
	4LAP (s)	13.98	13.68	60.59	
	5LAP (s)	<b>13.75</b>	0	16.31	
2月20日					
リチウムバッテリー		1回目	2回目	3回目	best time
15周	1LAP (s)	14.78	13.54	13.33	13.07
	2LAP (s)	<b>14.03</b>	14.06	15.18	
	3LAP (s)	14.98	<b>13.07</b>	<b>13.10</b>	
	4LAP (s)	22.08	14.69	24.31	
	5LAP (s)	21.06	13.66		
2月21日					
リチウムバッテリー		1回目	2回目	3回目	best time
15周	1LAP (s)	13.88	13.25	<b>13.06</b>	<b>12.38</b>
	2LAP (s)	14.01	<b>12.91</b>	13.30	
	3LAP (s)	12.82	13.45	13.26	
	4LAP (s)	<b>12.38</b>	14.29	14.62	
	5LAP (s)	13.01	12.96	16.52	
バッテリー残電圧	No1 (V)	13.10	12.88	6.05	
	No2 (V)	13.12	13.02	12.33	
	No3 (V)	13.09	13.02	12.31	
	No4 (V)	13.10	12.99	11.17	
2月22日					
リチウムバッテリー		1回目	2回目	3回目	best time
5周 6周目で ストップ	1LAP (s)	14.08	0		13.26
	2LAP (s)	16.01			
	3LAP (s)	<b>13.26</b>			
	4LAP (s)	13.92			
	5LAP (s)	20.45			
バッテリー残電圧	No1 (V)	9.63	3.51		
	No2 (V)	13.19	13.05		
	No3 (V)	13.17	13.09		
	No4 (V)	13.16	13.09		

## V 考察

この結果について、車両重量軽量化による効果であるのか、バッテリー性能の違いからの効果なのかを考察することとした。

コース長を 100m とすれば、平均速度は鉛:7.457m/s, Li-ion : 8.078m/s. 100m のコースを、50m 分加速して 50m 分減速を繰り返してして平均速度になっていると簡略化して考えると、50m を一定加速で走ると時間はラップタイムの半分であるから (図 5), 鉛バッテリー仕様の場合 50m を一定加速度で 6.705 秒で走るためには加速度は  $50m=0.5agt \times t$  から、 $\alpha=0.227$ . Li-ion バッテリー仕様の場合  $\alpha=0.2663$  となり、加速度比としては 1.173 である。

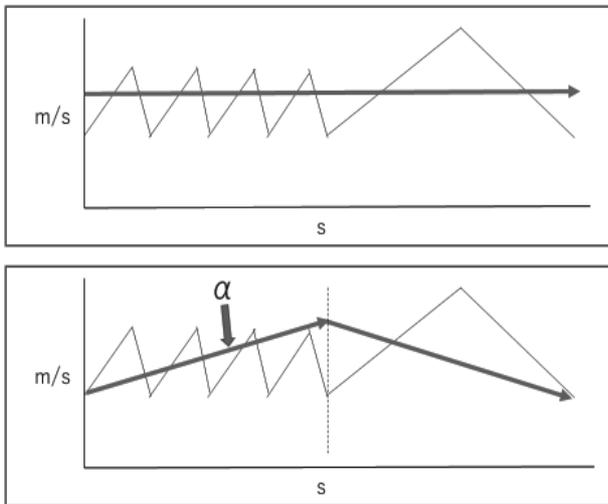


図 5 加速度の考え方

車両重量性能は、タイヤと路面の間に発生する力で動くため、エンジン出力やブレーキ性能に余裕があれば、加速並びに減速性能は車両重量によらずタイヤの性能によって決まる。つまり、車両重量を  $W$ 、駆動力を  $F$  とすればエンジン出力が無制限の場合加速度  $\alpha$  は

$$\alpha = (F/W) g$$

$$F = \mu \times W$$

$$\text{つまり } \alpha = \mu \times g$$

これは、エンジン出力が十分ある場合は、車は軽くても重くても最大加減速度は変わらないということの意味している。もちろんエンジン出力には限りがあるので、通常の車の場合 2 速以上では軽いほうが早く走れる。しかしながら、これは四輪駆動の場合で、二輪駆動では駆動輪は片側だけのため、駆動輪の接地荷重  $\times \mu$  の値が駆動力にしかならない。

制動減速度は、通常の車の場合四輪ともブレーキが

付いているので、これは変更なし。ただし、レーシングカートの場合は後輪しかブレーキがないので、減速度も減少してしまう。つまりレーシングカートの場合は、駆動輪すなわち後輪の接地荷重を大きくして、かつ車両重量が軽いほうが早く走れるということの意味する。

今回のレーシングカートの場合、駆動力は後輪の接地荷重が重要なので、レーシングカートの総重量ではなく前後軸荷重を正確に測定した。

今回は路面が土であり摩擦係数が低いため、モーターの出力は十分余裕があると考える。

車両総重量は鉛:210kg, Li-ion : 166kg, 重量比では 0.790 であるが、これが加速度の比にはならない。レーシングカートは後輪駆動であるため後輪荷重の割合は、鉛 53%, Li-ion : 56% である。

レーシングカートが出せる最大加減速度はタイヤと路面の摩擦係数  $\mu$  と、後輪の荷重割合  $\%$  を使って下記で表される。

$$\alpha = \mu \times \text{荷重割合} \times g$$

駆動輪が 2 輪のみの場合は駆動輪の接地荷重を  $W'$  で表せば最大駆動力  $F$  はタイヤと路面の摩擦係数を  $\mu$  とすれば

$$F = \mu W'$$

走行抵抗を  $F'$  で表せば速度が低い場合は、転がり抵抗はほぼ一定であり空気抵抗も無視できるため、転がり抵抗係数を  $\mu'$  で表せば

$$F' = \mu' W$$

転がり抵抗  $\mu'$  はタイヤと路面が同じであれば、車両重量差によってはほぼ一定と考え、鉛バッテリー搭載のレーシングカートに対する Li-ion バッテリー搭載レーシングカートの重量比を  $\beta$  とすれば  $\beta = 0.790$  で鉛レーシングカートの走行抵抗は  $\mu' W$  で、Li-ion の方は  $\mu' W \beta$  となる。鉛の方の平均加速度を  $\alpha$  とすれば

$$F - F' = \alpha W / g \quad \text{であり、}$$

$$\alpha = g (F - F') / W = g (\mu W' - \mu' W) / W$$

接地荷重の車両重量に対する割合を  $\gamma$  で表せば

$$\alpha = g (\mu \gamma - \mu')$$

両者の加速度比は

$$(\mu \gamma \text{ Li-ion} - \mu') / (\mu \gamma \text{ 鉛} - \mu')$$

である。

このタイヤと路面の摩擦係数  $\mu$  と、転がり抵抗  $\mu'$  を実験にて計測した。

摩擦係数  $\mu$  の計測方法としてパネ秤 (許容 30 kg) を用いて測定車両に繋ぎ、駆動輪が滑り出す最大駆動力を測定した。最大駆動力は 25.2kg であり、摩擦係数  $\mu$  は

0.271 である。予想よりも低い値であった (写真 4)。

転がり抵抗  $\mu'$  測定方法は、動力伝達チェーンを外し、バネ秤 (許容 10 kg) を用いて歩く速度で引張れる荷重を計測した。計測したグラウンドは目視で確認ができるくらい凸凹しており、測定コース往復をグラウンドの数か所にて測定し、その平均値とした。引張荷重は 6kg であり、転がり抵抗  $\mu'$  は 0.036 である (写真 5)。



写真 4 摩擦係数測定



写真 5 転がり抵抗測定

実験結果より、  
鉛の場合

$$\gamma = 0.53, \mu = 0.271, \mu' = 0.036, \alpha = 0.108$$

Li-ion の場合

$$\gamma = 0.56, \mu = 0.271, \mu' = 0.036, \alpha = 0.116$$

すなわち加速度比は 1.075 であり、ラップタイムから計算した加速度比 1.173 には達していない。

上記の結果から、単に重量比が性能向上の要因という

ことだけではなく、Li-ion バッテリーと鉛バッテリーの性能差も影響していることが推測される。ただし、駆動力等の実測結果から導き出された加速度は、鉛バッテリーの場合  $\alpha = 0.108$ 、Li-ion の場合  $\alpha = 0.116$  にしかならず、ラップタイムから計算した値の半分以下にしかっていない。実際試乗した感覚では 0.2 g 程度の加速度は感じられるのでこの結果の差については今後検討が必要と考えている。実際の走行時では、加速時に後輪への荷重移動が起こるので、その分駆動力も大きくなるため、その影響も考慮すべきと考えている。

ちなみに今回使用した Li-ion バッテリー製造社の CCA 値が鉛バッテリーより高い値であるところから調べた結果、鉛バッテリーと比較して格段にバッテリー内部抵抗が少ないためクランキング時の電圧降下も少なく、鉛バッテリーより 2V 程度高い電圧をスターターに掛けられる性能であり、要求出力に対して十分な電圧を供給できるため電流値は低く、本 Li-ion バッテリー CCA 値を 1.5 倍した CCA 性能の鉛バッテリーが同等ということである。今回使用した Li-ion バッテリー CCA 540 ということは、鉛バッテリーでは CCA 810 の性能が同等となり、今回使用した鉛バッテリー CCA 460 との CCA 性能比では 1.760 であり、この性能比の差が、ラップタイム向上に寄与している要因であるとも考えられる。

## VI 検証

電動レーシングカートに Li-ion バッテリーを使用することで車両運動性能が向上することが分かったが、耐久性に問題があることも分かった。

### ① Li-ion バッテリーが破損した原因

今回使用した Li-ion バッテリーは、2 輪車用に開発されたバッテリーであり、4 輪車向けには無いという点であった。2 輪車のオルタネーターからの発生直流電流は約 10 A 以下でありこのバッテリーに組み込まれている充電回路にて各セルのバランス電圧制御を行っているが、過放電の対策はされておらず、過放電状態が続くとセル間電圧のアンバランスにより、セルが破損して異常なエネルギーがバッテリー内部に蓄積されてゆき、バッテリーケースを壊して外部へ放出する。といった現象が起きていたことが分かった (表 4)。

2 月 21 日の電圧データ (図 2) では、No.1 バッテリーのみが 2 回目 10 周走行後より急激に電圧が低下している。この時点で特に電動レーシングカートに問題はなく、何故、No.1 バッテリーのみがこのよう

になったのかは不明であるが、この時すでに No1 バッテリーの内部で損傷が発生しており、2月22日の走行試験では、損傷した状態で過放電を繰り返してこのような結果になったと推測される。

② Li-ion バッテリー容量が少ない

鉛バッテリーと比較して周回数が少ないのか検証した結果、今回使用した Li-ion バッテリー製造社独自の容量 (Ah PbEq) 測定値を算出しており、鉛バッテリーと性能が異なるため、容量標記に関しては実際の鉛バッテリー容量標記の約半分ということが分かった。そのため、走行周回数が 30%以上少ないという結果には納得ができる。

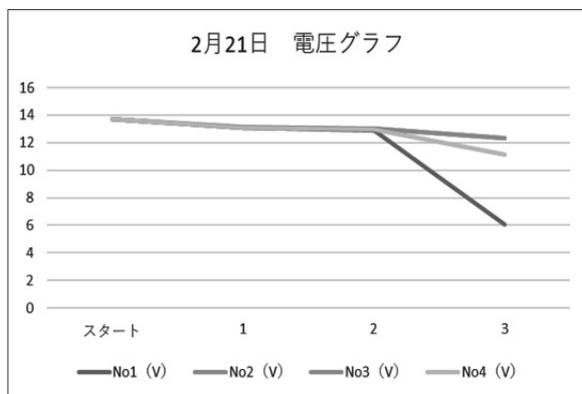


図 2 電圧グラフ

表 4 Li-ion バッテリーの電圧・容量特性(メーカー公表値)

無負荷電圧 (V)	定格容量
14.340	100%
13.300	90%
13.270	80%
13.160	70%
13.130	60%
13.116	50%
13.104	40%
12.996	30%
12.866	20%
12.730	10%
9.200	0%

充電閾値

使用可能範囲

放電閾値

V 課題

今回の走行試験方法として、スラロームと直線を繋げたコースを周回して、そのラップタイムにて評価を行ったが、正確に評価するにはスラロームのみ、直線コースのみといった試験コースとして、それぞれの運動性能を詳細に測定し評価する必要がある。

この Li-ion バッテリーを安全に継続的な使用をするには、以下の対策を施さなければならない。

- ① 過放電防止保護回路組み付け
- ② 各バッテリー電圧センシング回路組み付け
- ③ 12V 並列 2 個×4 = 48V 仕様へ改良

これらの改良を施すことにより、鉛バッテリー搭載電動レーシングカート以上の性能が期待できる。

VII まとめ

今回の走行試験で得られた課題を解決してゆき、この Li-ion バッテリーを安全で継続的に使用ができる電動レーシングカートとして、多くの高校生へ体験試乗ができるように改良し、体験教育を通して、今後の主流となると予測される Li-ion バッテリーの性能や特性についての理解と、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、自動車の楽しさやおもしろさを多くの小・中・高校生へ伝えていきたい。



# 大学から始めるモータースポーツ

## — 自動車部ダートトライアル活動 —

徳島工業短期大学 小笠原史也

Keywords : モータースポーツ, ダートトライアル

### I 自動車部

徳島工業短期大学自動車部はモータースポーツ活動を通じて自動車整備技術とドライビングテクニックの向上を目標としている。1年次4～5月では送りハンドルなどのハンドル操作練習, アクセルやクラッチなどのペダル操作, シフト操作を集中的に練習する。5月下旬から月1回, 近くのサーキット場を借りて実走行練習を行う。約1年間練習を重ねた上で希望者には1年次3月から始まる四国ダートトライアル選手権に出場できる。この他, 今年度はラリーや軽耐久参戦を計画している。

本報告では, 昨年度出場した四国地区ダートトライアル選手権の競技会場である香川スポーツランドにおける自身の経験を踏まえた走行ガイドラインを示す。



図1 香川スポーツランド



図2 テクニックステージタカタ

### II ダートトライアル競技

ダートトライアル競技は, 未舗装路の指定されたルートを1台ずつ走行してタイムを競う競技である。未舗装路には土が多いものと砂利が多いものに大きく分けられ, 一部コンクリートが敷かれている。コース全体を通して路面の摩擦係数が低いいため, 車両姿勢や動きを制御する能力が必要となる。また, 路面がアスファルトでないため, 車両が通過するたびに土が掘られて路面状況が変化することから高いドライビングテクニックが要求される。

参戦する車両はJAF規定により定められており, 排気量, 駆動方式, チューニング箇所, ナンバーの有無などによってクラス分けされている。地域によってクラス分けの方法が異なるが, 四国地区ではN, SDクラスに大きく分けられてこれらのクラスに参加するためにはB級以上のライセンスが必要となる。しかし, ライセンスを持っていない人にもダートトライアルに参加してライセンス取得を促すクローズドクラスもある。ただし, N, SDクラスは年間のポイントが積み重ねられ年間ランキングが決まるが, クローズドクラスにはポイントがなく, 景品も出ないことが多い。

四国地区ダートトライアル選手権会場は土が多い香川スポーツランド(図1)と砂利が多いテクニクステージタカタ(図2)の2コースがある。コース幅は香川スポーツランドが車一台分でエスケープゾーンがほとんどない。テクニクステージタカタでは反対に車一台分の幅がほとんどなくコース幅が広い。

図3に, 香川スポーツランドのコース例を示す。2017年3月に行われたコース図である。表1に, そのコース状態を示す。スタートから広い平坦路を走行し, ①から急な下りが②まで続く。②から右に旋回し, 短いストレートを経て③より左旋回しながら緩やかな下りとなる。④で下りから上りに転じ, 上りのヘアピンカーブを経て⑤に至る。⑤から⑥で少しの平坦路があり, ⑥から緩やかな下り, ⑦から上りとなり⑧で平坦路となる。⑧を過ぎて緩やかな右カーブを経て交差点を直進する。⑨で少し高さのある丘を通過して少しの直線, 交差点を通過する。

⑧付近で左コーナ，ゴール前に設けられたパイロンを360°ターンしてゴールとなる。

基本的な大会スケジュールは次の通りである。当日発表されるコースレイアウトを基に，ドライバはコース上を歩いて走行シーンをイメージする完熟歩行を行う。その後，ドライバーズミーティングを行い，1回目のタイムトライアルを行う。クローズドクラスでは，練習走行1回，1回のタイムトライアルを走行する。2回目のタイムトライアル前（クローズドクラスは3回目前）に再び完熟歩行を行う。その後，2回目のタイムトライアルを行う。

### Ⅲ 競技車両

競技車両は大学所有のミラージュ CJ4A である(図4)。レギュレーション規定により，ロールバー，4点式シートベルト等を備える。ボディでは，フロントアンダガード，フロアガード，タンクガードが取り付けられ，飛び石によるボディ下への損傷を軽減している(図5)。足廻りでは，ダート用に設計されたショックアブソーバとラリータイヤを装着している。ショックアブソーバは，車高調整機能はないが減衰力4段調整を備えており，路面状況に応じた調整が可能となっている。エンジンは可変バルブ機構 MIVEC を採用した 4G92 式で，エアクリーナとマフラを変更している。エンジンオイルは中国興業株式会社より提供いただいた DAYTONA ProSpec を使用した<sup>(4)</sup>。外装はボンネット，フロントバンパ，フロントフェンダ，ヘッドライトにランサーエボリューション用のものを加工して取付けている。表2に，競技車両スペックを示す。

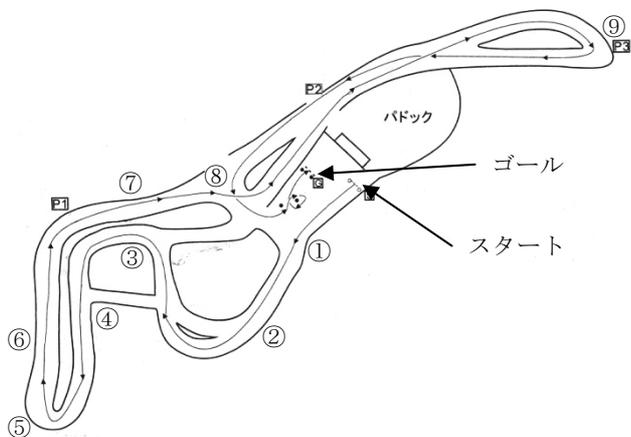


図3 香川スポーツランドのコース例

表1 香川スポーツランドのコース状態

区間	状態
スタート～①	平坦路
①～②	急な下り坂
②～③	平坦路
③～④	緩やかな下り
④～⑤	緩やかな上りから急な上りへ変化
⑤～⑥	平坦路
⑥～⑦	緩やかな下り
⑦～⑧	上り
⑧～⑨	平坦路
⑨	少し高い丘
⑨～ゴール	平坦路



図4 徳島工業短期大学 DT ミラージュ

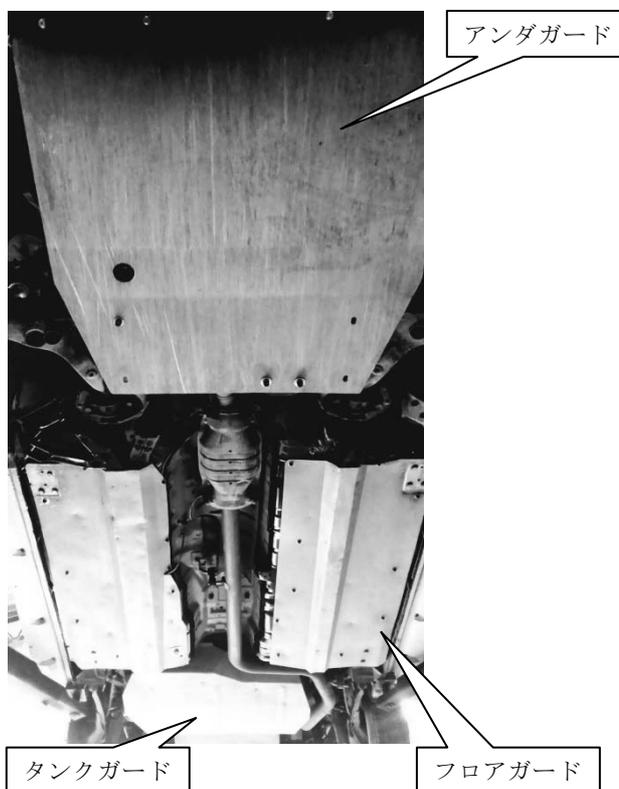


図5 ガード類

表 2 車両スペック

車両名	徳島工業短期大学 DT ミラージュ
車両型式	E-CJ4A
排気量	1597 cc
エンジン型式	4G92
全長	387 cm
全幅	168 cm
全高	136 cm
車両重量	1120 kg
タイヤ	DUNLOP DIREZZA 74R
タイヤサイズ	185/65R14 86Q
ホイール	ENKEI SPORT
ホイールサイズ	14×6JJ + 38
ショック アブソーバ	KYB REAL SPORTS DAMPER
スプリング	KYB
ストラットタワ ーバー	フロント：オリジナル リア：RIGID
ロールバー	11 点式
乗車定員	2 名
点火プラグ	NGK イリジウム
シートベルト	4 点式
エアクリーナ	HKS
マフラ	オリジナル
エンジンオイル	中国興業 DAYTONA ProSpec

#### IV 準備物

競技に参加するためや競技中に競技車両が故障した場合に備えて現場で修理するために必要な工具等の準備物を次に示す。

##### ・ドライバー

自動車用ヘルメット，レーシンググローブ，レーシングシューズ，レーシングスーツ，長靴，運転免許証，ライセンス，スポーツ保険証など

##### ・メカニック

工具一式，トルクレンチ，エアゲージ，ブースタケーブル，牽引ロープ，オイル・フルード系（エンジンオイル，ミッションオイル，ブレーキフルード，パワステフルード，クーラント液），ジャッキ，リジトラック，長パイプ，パーツクリーナ，潤滑剤，ウエスなど

##### ・車両

ドライブシャフト，ダート用スペアタイヤ 2 本以上，ホイールナット，タイラップ，テープ，割りピンなど

ドライバーの長靴は雨が降ったときの完熟歩行用などに使用する。スポーツ保険は万が一の事故のためにかける保険である。

メカニックの長パイプは，マフラなどが曲がった時に元に戻す際に使用する。

車両のドライブシャフトは折れた時の交換用に準備する。FF 車両の場合，ステアリングを切りながら急激な負荷を加えるとドライブシャフトが折れる確率が高くなる。スペアタイヤはビードがタイヤから外れるなどの異常時交換用である。

#### V 走行ガイドライン

図 6 に，説明用コースレイアウトを示す。スタート地点①から②→③の順に②まで走行する。②からは④→⑤→⑥→⑦→⑧と周り，ゴール前⑨のパイロンを通してゴールする。黒い点はパイロンを示す。

これより，各セッションでの走行状況を説明する。

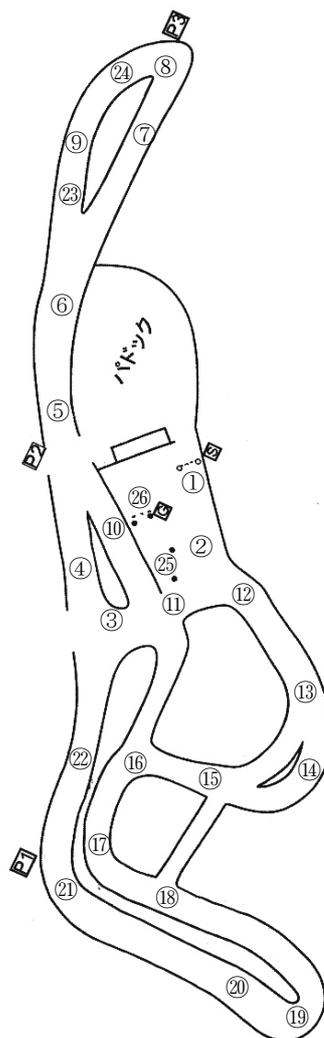


図6 説明用コースレイアウト



①スタート



⑦手前



②右旋回, シフトアップ



⑩旋回中のシフトダウン



⑪付近

③付近



④付近

⑤付近



①スタート時はサイドブレーキで車両を停止させ、最適なエンジン回転速度でクラッチミート、サイドブレーキを下ろして発進する。極端なホイールスピンをさせないようにスタートする。

②スタートから右旋回。エンジン回転数に応じてシフトアップ (1→2速)。

③付近は挙動が乱れやすいので注意。

※状況によりシフトダウン (2→1速)

④直線区間、フルスロットル領域。

⑤適時シフトアップ (2→3速)。

⑥高速度域 (メータ表示 100km/h 以上になることもある) のためハンドル操作に注意。ハンドルを切りすぎると挙動が乱れ、横転の可能性もある。

⑦手前付近からブレーキング、シフトダウン (3→2速)。

⑧状況により、2速またはシフトダウン1速、サイドターン。

⑨フルスロットル領域。適時シフトアップ。

⑤よりゆっくりとハンドルを切って⑩に進入。

⑩付近からブレーキング、シフトダウン (3→2速)。

※場合によりシフトダウン (3→1速)。

⑪左旋回中、状況によりシフトダウン (2→1速)。



⑪～⑫区間



⑬～⑭付近



⑰～⑱区間



⑳から㉑へ



㉓手前

㉔付近



谷注意

㉘付近



㉙パイロン



㉚ゴール

⑫より急な下り直線。フルスロットル領域。シフトアップ (1→2 速)

⑬付近もしくは手前からブレーキング。シフトダウン (2→1 速)。

⑭周辺は雨天時、スメリが多く、滑りやすい。ワダチを狙って走行。ブラインドカーブ。コース幅が広い。

⑮直線区間、フルスロットル領域。シフトアップ (1→2 速)。

⑯左コーナ、2 速進入。

⑰より緩い下り。ブラインドカーブでコーナがきつい。外に膨れやすく乗り上げに注意。左に溝ができやすい。

⑱下りから上りに転じる。直線区間、フルスロットル領域。シフトアップ (1→2 速)。

⑲上りながらのヘアピンカーブ。コンクリートが敷かれている。コーナ侵入前から減速、シフトダウン (2→1 速)。

⑳シフトアップ (1→2 速)。

㉑右方向落下注意。

㉒上り。フルスロットル領域。

㉓～㉔通過。

㉕ブレーキング、シフトダウン (3→2 速)。

㉖ブレーキング、シフトダウン (2→1 速)。

㉘状況により、サイドターン。オーバースピードで外へ膨らみ過ぎると谷に落ちるため注意する。

㉙～㉚通過。

㉛パイロン。

㉜ゴール。

走行ラインは基本的に小さく回ることを心がけるが、

あまり小さく回ろうとすると速度が落ちてしまい、加速性能が高くないミラージュにとっては不利になる。速度と旋回半径のバランスを考慮しながらライン取りをしなければならない。

以上のコースの他、区間別にコースを説明する。

- ・スタート①から②⑩へ走行

スタート直後から下りコースへ進入。ほぼ進入は直線で、フルスロットル状態で進入するが、飛び出して不安定になる場合は下り前に少しアクセルを緩めてフロントに荷重を移動させて進入する。

- ・スタート①から②⑪⑫へ走行

⑪から⑫へ走行する際に左コーナ付近で挙動が乱れ、谷に転落することがある。運転に不慣れの場合、挙動の乱れに特に注意する。

- ・⑭から⑮へ走行

ヘアピンカーブで下りの区間である。サイドターン気味に曲がると曲がりやすい。⑭付近は水たまりがしやすいので雨天時はブレーキに注意する。⑮付近は一番底になる部分であるのでここでも水たまりがしやすい。

- ・⑯から⑰へ走行

⑯から上りとなってコースが見えないが、⑰は左ギリギリを走行するとよい。

## VI まとめ

昨年度出場した四国地区ダートトライアル選手権の競技会場である香川スポーツランドにおける自身の経験を踏まえた走行ガイドラインを示した。

走行ラインや走り方がコース状態によって変化するが、ダートトライアル競技に参加する学生への参考になればと考える。

### 参考文献

文献を引用する場合、該当箇所の右肩に「電子<sup>(1)</sup>」のように一連の番号を付けて表示する。

- (1) 中国興業株式会社,

<http://www.chugoku-kogyo.com/product/0100-pro-sp/ec/>

# 電動スポーツバイクの試作（その6） － 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 6 報である。

## II 研究の目的

今回の研究ではモータースポーツで使用されているリチウムイオンバッテリーを搭載して実験を行うことにした。狙いは軽量化である。前回は電動バイクのモータが故障してしまい、実験を行うことができなかったが今回は走行実験を行い性能評価することを目的とする。

## III 使用機材

ベース車両は平成 22 年度製作した YSR50EV の仕様（ホイール・イン・モータ）に戻し実験を行った(Fig.1)。



Fig.1 電動バイク「YSR50EV」

本来であれば YSR50EV-2 の仕様（P U E S 製モータ「M600」を搭載）で実験を行う予定であったが故障していたモータのコントロール・ユニットをメーカーに修理の依頼したところ、修理部品が生産中止になっているものが多く修理不可能と返答があった。そのためやむなく前回の仕様に戻して実験をすることとなった。

次にリチウムイオンバッテリーはイタリアの ELSA SOLUTIONS 社製「ALIAN T YPL07」を使用するこ

とにした。外観と仕様については Fig.2 と Table.1 に示す。



Fig.2 リチウムイオンバッテリー「ALIAN T YPL07」

Table.1 リチウムイオンバッテリー  
「ALIAN T YPL07」の仕様

幅×奥行き×高さ	114×40×90mm
公称電圧	13.2V
鉛バッテリー換算容量	7Ah
パルス放電電流@23℃	260A
CCA@-18℃	130A
重量	450g

このバッテリーを選定するにあたって鉛バッテリー換算容量が 7Ah と少ないのではという懸念があったがこの研究では 0-50m を目的にすることになるので問題ないと考えた。

またこのバッテリーには BMS（バッテリー・マネジメント・システム）が内蔵されており、リチウムイオンバッテリー内部の電圧を安全に制御されている。上記二つの機材を使って実験を行った。

## IV バッテリーの搭載

電動バイク「YSR50EV」に「ALIAN T YPL07」を 5 個搭載した状態を Fig.3 に示す。

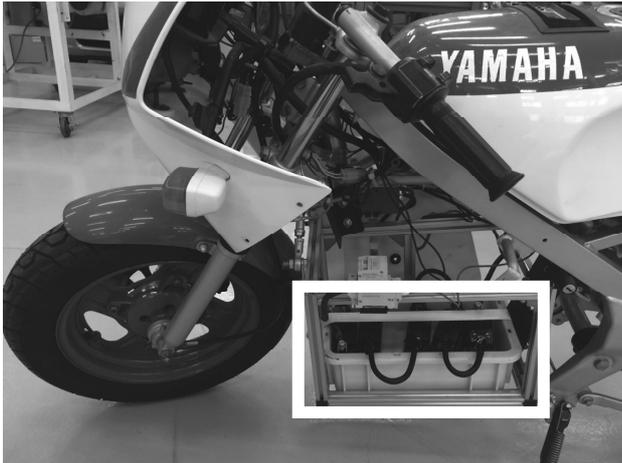


Fig.3 リチウムイオンバッテリーの搭載状態

白の枠内に「ALIAN T YPL07」が収まっている。画像からもわかるように「ALIAN T YPL07」はかなりコンパクトなため、余裕をもって搭載することが出来た。

#### IV 重量の測定

今回の改良による電動バイクの重量の変化と前後の重量配分を Table.2 にまとめた。

Table.2 車両重量, 前輪荷重, 後輪荷重の比較

	YSR50 (改造前)	YSR50EV 鉛バッテリー	YSR50-EV Li-ion
車両重量	87kg	94kg	64kg
前輪分布	42kg	49kg	32kg
後輪分布	45kg	45kg	32kg

このように鉛バッテリー仕様より軽くなるのは当然であるが、改造前のエンジン仕様の重量より 23kg も軽くなる結果となった。重量配分は 5:5 の均一な配分となった。

#### IV 走行実験

走行実験は停止状態から 50m までの到達時間を測定する 0-50m を手動のストップウォッチで測定した。(Fig.4) (Table 3). なお、実験時ドライバーはヘルメットなどをフル装備した状態で 79kg である。



Fig.4 走行実験の様子

Table.3 到達時間

	時間
1 回目	9.72 秒
2 回目	9.70 秒
3 回目	9.75 秒
平均	9.72 秒

このタイムを前回測定した鉛バッテリー仕様の場合の平均到達時間と比較してみることにする。(Table.4)

Table.4 平均到達時間の比較

YSR50EV 鉛バッテリー	YSR50-EV Li-ion
9.09 秒	9.72 秒

実験の結果、重量が軽くなっているにも関わらず到達時間が 0.63 秒も遅くなっている。

#### IV 分析

重量は Li-ion 仕様により軽くなったのだが肝心の走行実験において鉛バッテリー仕様よりも到達時間が遅くなっているため、原因を分析することにした。

まず最初にバッテリー容量が少ないために電圧及び電流が不足しているのではないかと疑い、負荷時の電圧と電流を測定した(Table.5).

Table.5 バッテリーの無負荷時と負荷時の電圧及び電流

無負荷時のバッテリー電圧	66V
フル加速時の負荷時の電圧	56V
フル加速時のピーク電流	47A

測定の結果、フル加速時には電圧が降下しているものの十分な電圧が発生していることが確認された。電流についても 47A と十分に出力されており問題ないと考え

ている。このホイールインモータは最大出力が 1339W であり、単純計算しても  $56V \times 47A = 2632W$  となるためバッテリーが原因とは考えにくい。また 3 回行った走行実験でも到達時間のバラツキがほとんどなくバッテリーは安定して電力を供給していると考えられる。

次にモータが経年劣化により出力が落ちたのが原因ではと推測して鉛バッテリー仕様に戻すことも考えたが今回は断念した。鉛バッテリー仕様に戻すには当然ながら当時と同じ鉛バッテリーが必要なのだが、前回の実験が平成 22 年度に行われており当時の鉛バッテリーが劣化して破棄や他に流用したため残っていなかったのが理由である。

また車両がサビなどによるフリクションの増加も原因の一つとして可能性としてあるのだが今回の実験では調べることができなかった。

## VI まとめ

今回の研究では走行実験で良好な結果が出せず、また原因が分からないままという残念な結果に終わった。しかし、0-50m では結果が出せなかったがテストコースなど車両の運動性能が試されるコースでは車両の軽さが重要となるため総合的に運動性能は向上していると考えている。

長年、電動スポーツバイクを研究・改良してきたが近年ではスポーツバイク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ため研究を一旦終了させたいと思う。今後は、この研究で得られた知識を教育の現場で学生たちに伝えていけたらと考えている。

## 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)

- (6) 廣瀬博文, 平野一正:「電動スポーツバイクの試作 (その 5)」 徳島工業短期大学紀要 第 20 刊, p. 13-14 (2014)



# 燃料電池を使った電動カートの製作（その2）

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。

昨年度は、既存のシニアカーに燃料電池を搭載し実験走行には成功した。しかし、実験走行中にシステムエラーが頻繁に発生する結果となった。今年度は、システムエラーの原因を究明し、改良することとした。

## II 使用機材

ベース車両は平成 27 年度に製作した燃料電池システムを搭載したシニアカーを使用する。「H-B200 PEM 燃料電池システム」の仕様と性能特性については Table.1 と Fig.1 に、シニアカーの仕様については Table.2 に示す。

Table.1 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℃
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

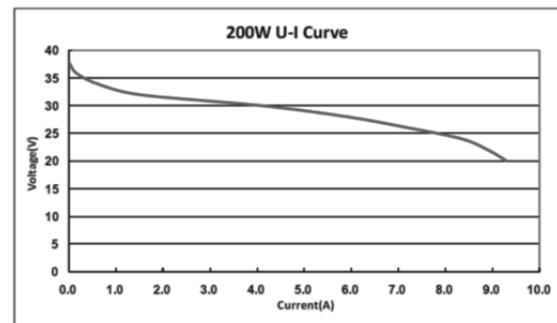


Fig.1 H-B200 PEM 燃料電池システムの性能特性

Table.2 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
バッテリーを含む総重量	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

## III 原因の究明

現象確認の結果、システムエラーは最高速度 4.0~6.0km/h 時での全開発進時、発進してから 2~5 秒後に必ず発生する。また、2.0~4.0km/h での全開発進時でもシステムエラーが発生することも判明した。

まず、この時の燃料電池システムの電圧と電流の測定を行った。なお、電流はモーター~燃料電池マイナス端子間に 0.1Ω の抵抗を取付け、その抵抗の両端の電位差を測定し、オームの法則により計算にて算出することとした。測定波形の CH1 が発電電圧、CH2 が 0.1Ω の抵抗の両端の電位差である。

### 1. 車両停止状態

車両停止状態での測定波形を Fig.2 に示す。無負荷状態では一定の電圧で発電すると考えていたが、実際は 10 秒に 1 回定期的に 0.3 秒間電圧が落ち込む期間があることが判った。

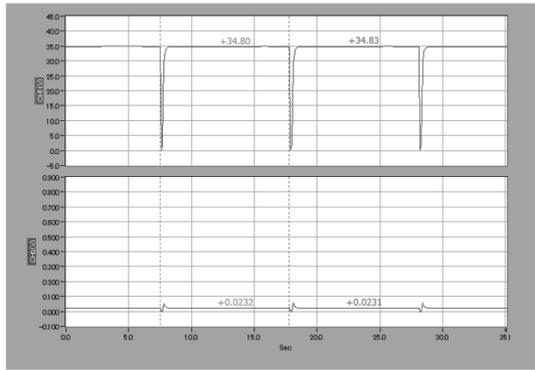


Fig.2 車両停止時の測定波形 (1)

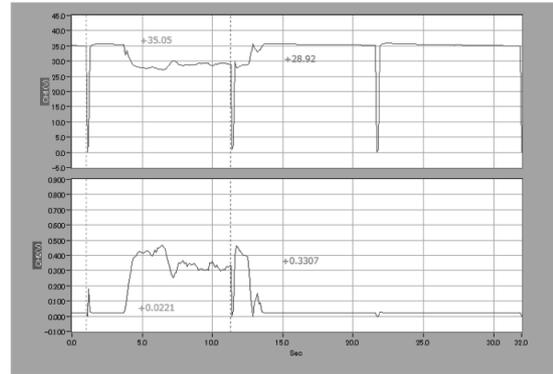


Fig.4 最高速度 6km/h 時の測定波形 (1)

## 2. 最高速度 3km/h 時での全開発進時

最高速度 3km/h 時での全開発進時での測定波形を Fig.3 に示す. CH2 の最大電圧は 0.47V, よって電流は計算値で 4.7A であり, その時の CH1 の電圧は 27.09V であった. この速度域での走行では CH1 の電圧は 24V 以上あり, シニアカーの適正電圧の範囲内であるためシステムエラーは発生しなかったと思われる. また, 走行中であっても 10 秒に 1 回定期的に 0.2 秒間の発電していない期間があることが判った.

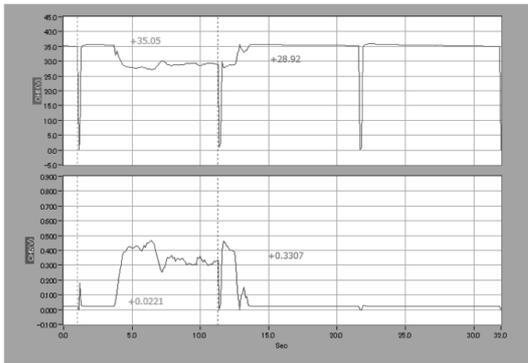


Fig.3 最高速度 3km/h 時の測定波形 (1)

## 3. 最高速度 6km/h 時での全開発進時

最高速度 6km/h 時での全開発進時での測定波形を Fig.4 に示す. CH2 の最大電圧は 0.9989V, よって電流は計算値で 9.989A であり, その時の CH1 の電圧は 17.42V であった. この速度域での走行で CH1 の電圧が 20V 以下の状態が 4 回発生し, その全てでシステムエラーが発生した.

以上のことより, システムエラーが発生する原因は, 発進時等の大きな負荷により大きな電流が流れた時, 燃料電池システムの発電電圧は 20V を大きく下回り, シニアカーは電源電圧異常を検知し作動を停止するものと思われる.

## IV 改良と効果

システムエラーの真因は燃料電池システムの発電能力不足であるため, 本来は 400W 以上の燃料電池システムに換装することが一番の解決策であるが, 現状の燃料電池システムを使用した解決策を考えることとする.

そこで, 今回は発電能力不足を補うためにリチウムイオンバッテリーを追加することにした. 追加するリチウムイオンバッテリーの外観と仕様については Fig.5 と Table.3 に示す.



Fig.5 リチウムイオンバッテリー「IT12B-FP」

Table.3 リチウムイオンバッテリー「IT12B-FP」の仕様

幅×奥行き×高さ		150×65×92 mm
重量		約 3.7kg
消費電力		48.0Wh
定格電圧		12V
普通充電電流	標準	2.0A
	最大	20.0A

定格電圧 12V のリチウムイオンバッテリーを 2 個直列に接続して 24V とし、燃料電池システムと並列に接続して燃料電池システムの電圧と電流の測定を行った。車両停止状態での測定波形を Fig.6 に、最高速度 3km/h 時での全開発進時での測定波形を Fig.7 に、最高速度 6km/h 時での全開発進時での測定波形を Fig.8 に示す。

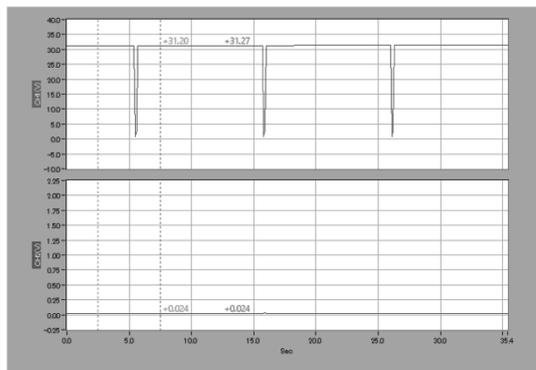


Fig.6 車両停止時の測定波形 (2)

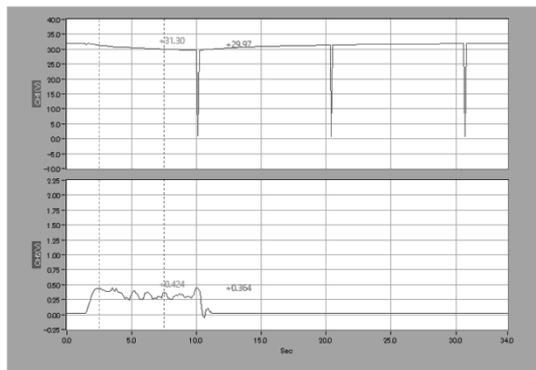


Fig.7 最高速度 3km/h 時の測定波形 (2)

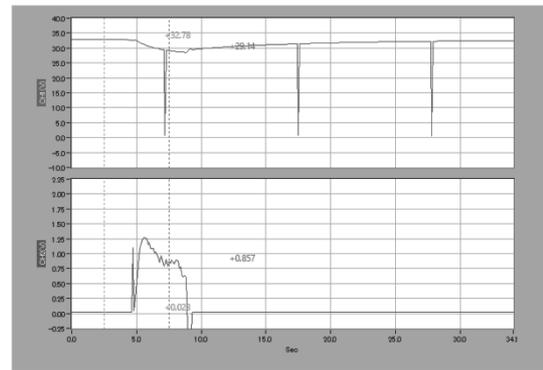


Fig.8 最高速度 6km/h 時の測定波形 (2)

燃料電池システムの発電電圧 CH1 は最高速度 3km/h 時、最高速度 6km/h 時共に前回発進時から走行終了まで概ね 29.9V 付近で安定している。また、電流算出用 0.1Ω の抵抗の両端の電位差である CH2 は最高速度 6km/h 時での全開発進時にて最高電圧 1.27V、電流は計算値で 12.7A となった。この時の CH1 の電圧は 31.14V で消費電力は 395W となり、シニアカーの定格出力を満たす結果となった。

## V まとめと今後の予定

今回の実験では燃料電池システムの定格出力不足分を小型リチウムイオンバッテリーにて補完し、シニアカーのスペックを十分発揮することができた。次年度は長距離走行や登坂路走行での電圧と電流の測定、また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。

## 参考文献

- (1) 東條賢二, 廣瀬博文, 平野一正:「燃料電池を使った電動カートの製作 (その 1)」 徳島工業短期大学紀要 第 20 刊, P.15-16 (2016)



# 自動車構造材料の軽量化と成形性

## — 高張力鋼板のプレス加工時における決押しと形状凍結性 —

徳島工業短期大学 中 哲夫

Keywords : 高張力鋼板, CO<sub>2</sub>削減, プレス加工, 決押し

### I はじめに

近年, 地球温暖化対策として温室効果ガス CO<sub>2</sub>の排出量削減が求められている. 全世界のエネルギー消費に関わる CO<sub>2</sub>総排出量に対し, 2050 年までに 2012 年比で 60%削減が国際エネルギー機関(IEA)が COP21 (国連気候変動枠組条約締結国際会議) に向けての目標になりそうである. 陸運関係からの排出は約 20%を占めており, 同様の削減が必要となる.

GFEI(国際組織 Global Fuel Economy Initiative)の目標では, 2030 年までに販売される新車(乗用車)の燃費を 8.3 L/100km から 4.2 L/100km とほぼ 1/2 に削減する必要がある. EU では図 1 に示されるように平均車体重量に応じての設定目標を下回らなければ罰金が科される. 2015 年の EU での目標値 130g/km が 123.4g/km と大きくクリアしたのは, EV 車とハイブリッド車の導入により実現している. しかし, 2020 年の目標に向けては大

幅な改善が求められている. この対策の中で, 自動車の軽量化により燃費を向上させ CO<sub>2</sub>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<sup>(1)(2)</sup>.

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<sup>(3)</sup>. これらの車種においても燃費支配要因の 40%程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, CO<sub>2</sub>排出量削減に非常に重要と思われる.

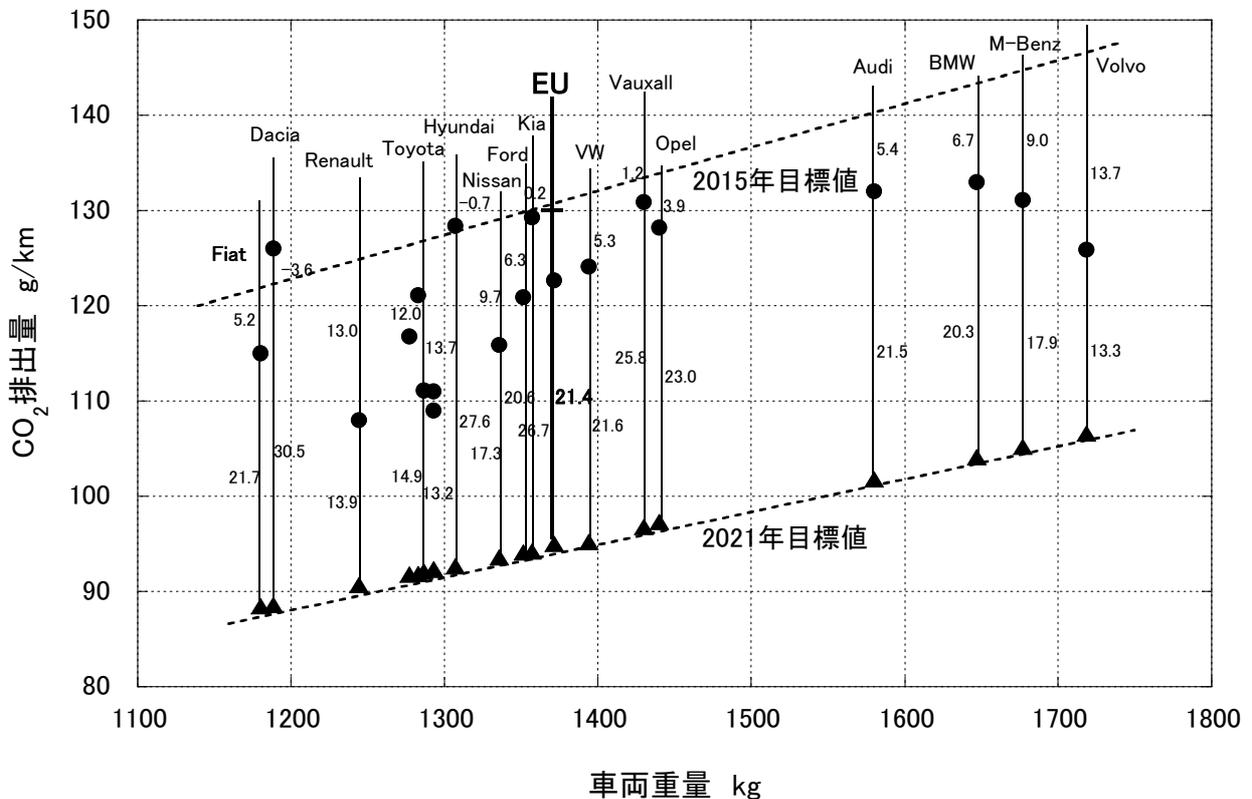


図 1 EU における 2015 年と 2021 年目標からの乖離率

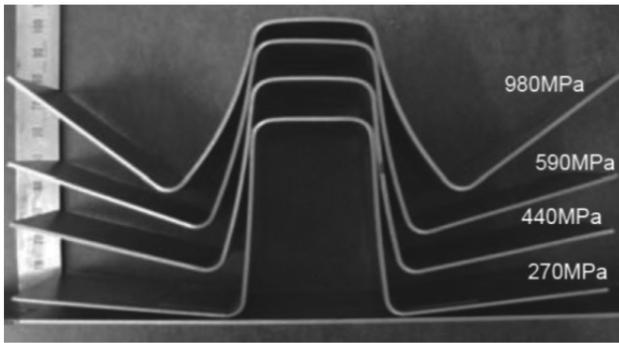


図2 高張力鋼板の加工時のスプリングバック

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<sup>(4)</sup>、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<sup>(5)</sup>。しかし、高強度化を進めると図2に示したようにスプリングバックによる形状凍結性が低下しプレス成形性(延性低下に伴う割れやしわの発生)が悪化する傾向がある<sup>(6)</sup>。この解決法としては、引張り曲げ(板材の両端に引張力を与えながら曲げる方法)と決押し(プレス加工最終段にて押しつけ荷重を増加する)とがある。両者とも板材の曲げ部に発生する内側の圧縮応力と外側に発生する引張り応力の残留応力を緩和して、スプリングバック量を低減する方法である。

本研究では決押し(図3に示す)により曲げ部の残留応力が均一化し、加工性が向上する理由を解明するために、計算力学やシミュレーションにおいても重要な、高張力鋼板の形状凍結性を解明しておくことが必要不可欠である。そこで、本研究では、ますます拡大する高張力鋼板の適用に対応するため、V曲げを行うことで、決押し荷重、パンチ先端形状と潤滑剤の有無によるスプリングバック量への影響を調査した。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。

## II 材料及び実験条件

### 1. 高張力鋼板の種類

高張力鋼板は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

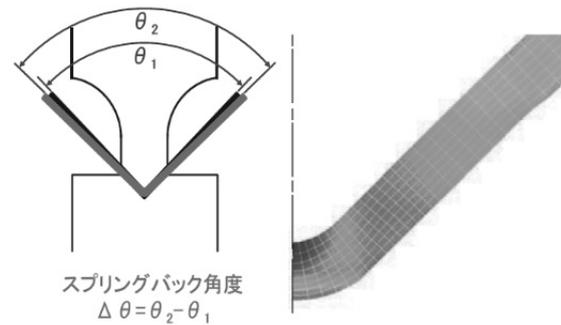


図3 決押しによる残留応力の均一化

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。これらの鉄鋼のマイ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、熱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。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っ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、価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、1800MPa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. V曲げ試験

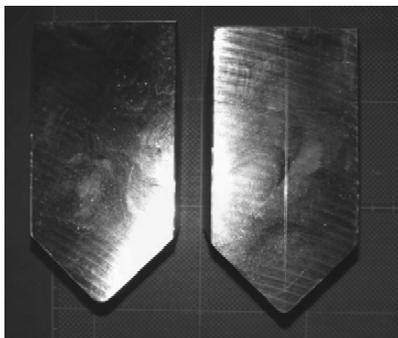
実験に供した材料は全て DP 鋼板(二相鋼板: Dual Phase Steel), JFE スチール社製で 590MPa, 780MPa, 980MPa 及び 1180MPa の 4 種の強度の高張力鋼板を使用し, 長さ 70 mm, 幅 50 mm の矩形試験片に加工した。4 鋼種とも板厚は 1.2mm のものを使用した。

潤滑剤は無潤滑状態と出光興産ダフニスーパークोट TW (非バリウム系高性能汎用防錆油) 及び出光興産ダフニープレスドローLF38 (非塩素系高性能絞り加工油) を用いた。

試験機は株式会社アミノの万能塑性加工機 (インナー容量 196 kN × アウター容量 98kN) の V 曲げ装置をセットして使用した。パンチを図 4 に示す。パンチ角度は 90° で先端部丸みは R=4 と R=2 を使用した。

## 3. 決押し力の算出

実験に供した材料は全て板厚 1.2mm, 板幅 50mm, 長さ 70mm なのでこの値を用いて, 断面二次モーメントを算出し, 板材強度ごとのヤング率にて決定した。実験ではこの計算より算出した決押し力と, 1/2 及び 1/3 の荷重を 3 秒間保持してスプリングバック量を求めた。実験での決押し力を表 1 に示す。



(a) R=4 (b) R=2  
図 4 V 曲げ用パンチ

表 1 板強度と決押し力

板強度 (MPa)	590	780	980	1180
ヤング率 (GPa)	203	209	238	240
決押し力 (kN)	30	30	35	35
決押し力 1/2 (kN)	20	20	25	25
決押し力 1/3 (kN)	10	10	15	15
降伏応力 (MPa)	380	500	710	930
引張強さ (MPa)	630	803	998	1213

## III 実験結果と考察

実験結果の計測はスプリングバック量については読取顕微鏡及びプロトラクターを用いて計測を行った。また, 曲げ先端部外側の割れについても読取顕微鏡にて観察及び先端部の板厚をポイントマイクロメータを用いて計測を行った。これは強度が高く延性のない材料では割れ破断が起こり成形不良品として扱うためである。図 5 に本研究で R=2 で先端にクラックが入った 1180 MPa 級鋼板の例を示す。

試験後の試験片の一例を図 6 に示す。(a)が 590MPa 級の下から決押し力 1, 1/2, 1/3 で, (b)が 980 MPa 級の下から決押し力 1, 1/2, 1/3 である。

パンチ先端角の影響は当初アミノ社製の万能試験機に備わっていたパンチは先端が 90° と鋭利なもので高張力鋼板では, 曲げ部外側に全て割れが生じたため R=2 と R=4 のパンチを制作した。R=4 での V 曲げプレスにおいては図 7 に示されたように, 板強度上昇に伴いスプリングバック量は増大した。図中には左より無潤滑 (潤滑油 1), 防錆油 (潤滑油 2) 及びプレス油 (潤滑油 3) も同時に示したが, 潤滑油による影響は自由曲げにおいてはほとんどないといつて良いと思われる。

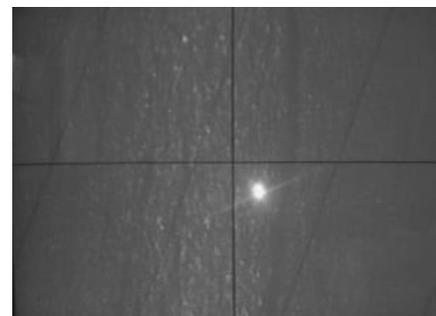
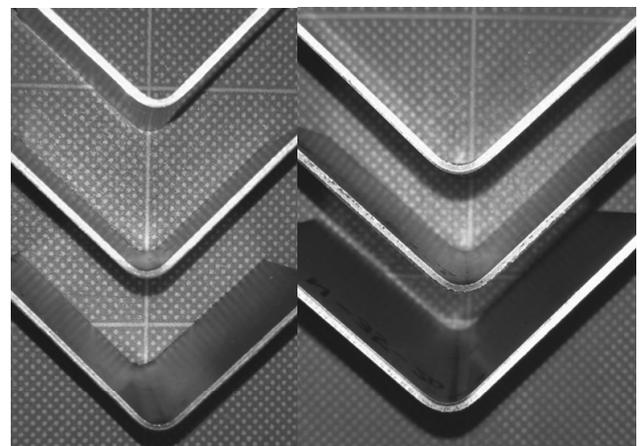


図 5 曲げ先端部クラック発生



(a) 590MPa 級 (b) 980MPa 級

図 6 V 曲げ試験後の試験片

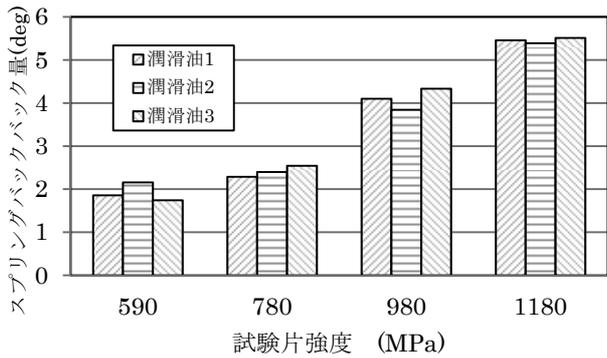


図7 パンチ先端 R=4 におけるスプリングバック量

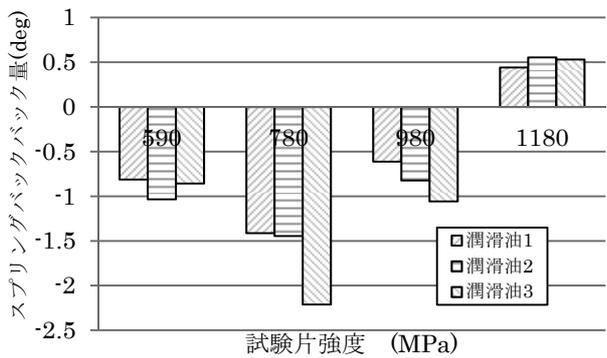


図8 パンチ先端 R=2 におけるスプリングバック量

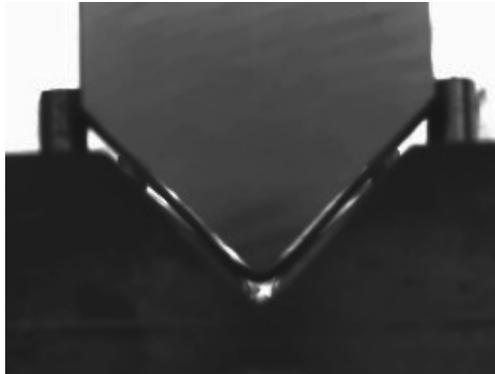


図9 パンチ先端 R=2 における下降過程

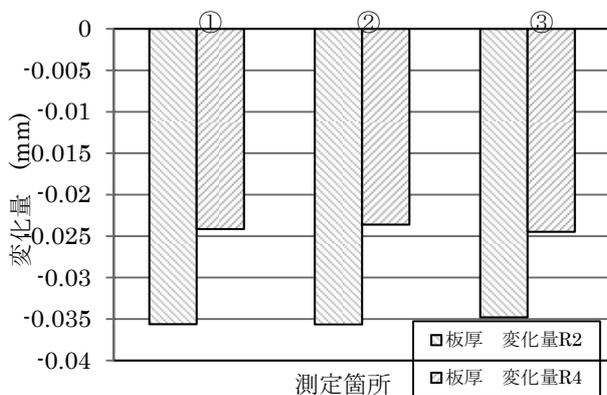


図10 曲げ部中央の板厚

次に図8にパンチ先端R=2の試験より得られたスプリングバック量を示す。この図では590MPaから980MPaにおいてはスプリングバックではなく、スプリングゴーとなっている。これはパンチ先端部の先端接触部が小面積でなおかつ高張力鋼板で板材強度が高いため、パンチ降下途中で90°以上に板材の曲率が増加する過程があるため過度の変形が起こることが動画撮影により確認できた。図9に一例を示す。また、図10に示した板材曲げ部の板厚変化においてもR=2の方が板厚減少率が大い。このことからパンチ先端半径が小さくなれば加工量が多くなるためスプリングゴーが発生したものと思われる。この図の測定部とは①と③が板の両端、②が曲げ中央部である。板幅方向の板厚に変化が見られないことから平面ひずみ状態の変形で実際のプレスが模擬されていることも示された。

しかし、決押し力の変化については高張力鋼板においてはさほどさが見られないことも示された。

このことから高張力鋼板の曲げ成形における形状凍結性に対しては決押し力ではなく、プレス型形状に大きく左右されることが示された。また、サーボプレスのストロークエンドの調整でも形状凍結性が改善されるが、このことについてはまだ力学的には解明されていない。

参考文献

- (1) 経済産業省：2014年エネルギー白書，資源エネルギー庁，(2015)
- (2) 西野浩介：世界的な自動車燃費規制強化とその影響，アルミニウム，第24巻第98号，6-9，(2017)
- (3) 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)
- (4) 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巻第92号，9-12，(2015)
- (5) 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巻第606号12-17 (2011)
- (6) 林央：高強度鋼板の車体への適用と変遷，塑性と加工，第58巻第673号99-104 (2017)

# 火花点火装置の医療応用

## — 水中放電発生装置の製作と発生衝撃波の収束観察 —

徳島工業短期大学 宮城勢治  
筑波大学 中尾 愛  
阿南工業高等専門学校 今井武史・西尾峰之・森時秀司

Keywords : 水中放電, 衝撃波, 衝撃波の収束, 医療応用

### I はじめに

自動車エンジンの点火プラグを水中に浸けて高電圧インパルスをかけても、ギャップ間隙が約 1mm と広い  
ため放電はしない。しかし、この間隙を 0.1mm 位に小  
さくしてかつ電極の両先端を円錐状に尖らせば火花放  
電する。水中であれば充電エネルギーにもよるが放電に  
より大きな圧力（衝撃波）を発生する。この衝撃波を 1  
点に収束させて数 MPa 以上の圧力にすれば医療に応用  
できる。

衝撃波の医療応用研究<sup>(1),(2)</sup>は、1980 年代に結石破碎  
技術として注目され始めた。そこで、研究者の一人は「衝  
撃波の収束現象」と題して 1986 年に国際会議で発表し  
た<sup>(3)</sup>。また著者の一人は、放物面反射体から反射される  
衝撃波の収束過程を実験と数値計算により、様々な形状  
および衝撃波の速さをパラメータとして明らかにした<sup>(4)</sup>。  
しかし、盛んに研究が行われているものの、衝撃波  
が生体組織に与える影響については不明なことが多い。  
2000 年には衝撃波研究者による「衝撃波ハンドブック」  
が刊行され、衝撃波収束に関して詳細な研究成果がまと  
められている<sup>(5)</sup>。現在の衝撃波装置は比較的大型であり、  
細胞レベルの衝撃波照射実験には不向きであるとい  
う問題点もある。よって、より高度な収束精度を持ち、  
且つ小型の医療用衝撃波収束装置の開発の需要が高ま  
っている。五十鈴川ら<sup>(6)</sup>は水中放電衝撃波の収束過程を  
シュリーレン法で可視化し、良い先行研究になっている。  
その後は装置の小型化の研究も進み、中川<sup>(7)</sup>、山本  
ら<sup>(8)</sup>はそれぞれ微小放電、レーザーを使って小型化を研  
究している。

本研究では火花放電を楕円体第 1 焦点で発生させ、衝  
撃波を第 2 焦点に収束させる。楕円体反射板の口径（短  
径）を 20mm<sup>(9,10,11)</sup>からの小型化を図っており、今回の  
実験においては、短径 10mm 楕円反射体を用いた衝撃  
波の可視化と圧力測定を精密に行った。さらに回転楕円  
体反射板（短径 10mm）に応用することで、より高精度  
に衝撃波を収束させた。収束衝撃波の可視化と圧力測定  
を行うことにより、詳細な衝撃波収束の現象を解明し、  
火花放電の医療応用を検討する。

### II 実験装置

#### 1. シュリーレン法

図 1 に本研究で用いた衝撃波可視化のシュリーレン  
法の概略図を示す。

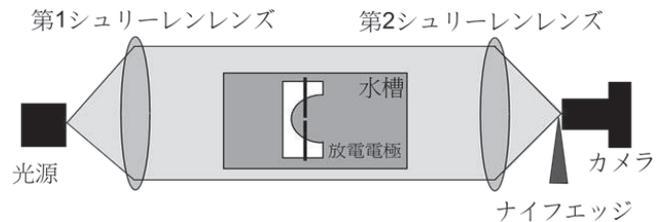


図 1 シュリーレン法概略図

点光源からの光をレンズで平行に進行する光束とし、  
試料を通過後、第 2 レンズの焦点に収束させ、その焦点  
位置にナイフエッジをおく。エッジに近づく方向に屈折  
された部分は暗く、遠ざかる部分は明るくなり、これに  
より試料の密度分布が明暗として観察される。これをデ  
ジタルカメラで撮影する。光源には著者の一人（宮城）  
が開発したナノスパーク（パルス幅 60ns）を使用した。

#### 2. 水中火花放電回路

火花放電回路には容量放電式を用いた。図 2 に短パル  
ス高電圧発生回路の回路図を示す。

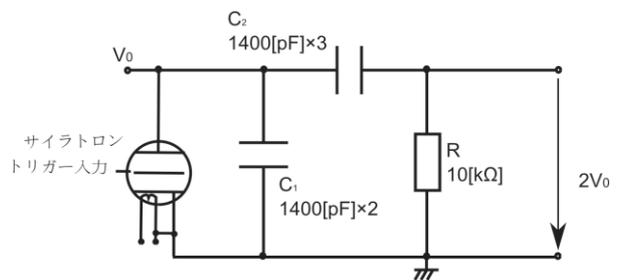


図 2 短パルス高電圧発生回路

供給電圧  $V_0$  により、コンデンサー  $C_1$  および  $C_2$  を充  
電する。サイラトロンが点火することで、 $C_1$  とサイラ  
トロンは LC 反転回路を形成する。これにより抵抗  $R$  の  
両端に得られた急峻な短パルス高電圧（およそ  $2V_0$ ）を、  
同軸ケーブルを経て水中にある電極に印加することで  
放電を行い、水中衝撃波を発生させる。最初に充電され  
るエネルギーは 0.1J 以上であり、これをできるだけ早  
く水中で放電させるため、回路インダクタンスの少ない  
同軸ケーブル(2.3m)を利用する。図 3 に短径 10mm の

二次元および三次元の楕円反射体を示す。電極には直径0.5mmのタングステン線の先を円錐状に尖らせたものを用い、電極間隙は0.1mm程度とした。

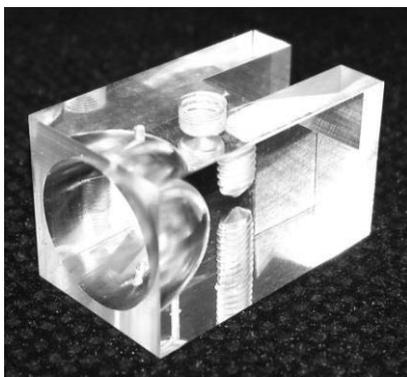
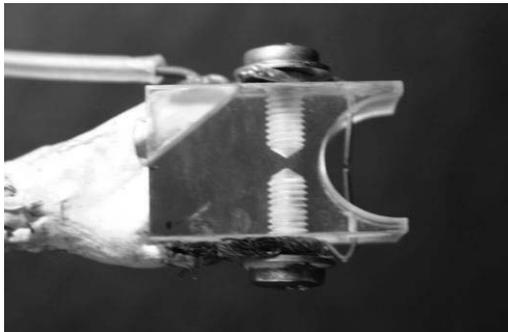


図3 二次元楕円体反射板（上）、  
回転楕円体反射板（下）

### III 実験方法および実験結果

実験装置概略図を図4に示す。第1遅延パルス発生器から、遅延時間を設けず、水中放電電極側のサイラトロントリガパルス発生器にトリガー信号（約5V）を送る。するとサイラトロントリガパルス発生器から高電圧パルス発生器内のサイラトロンのグリッドへ約100Vのインパルスが加えられ、サイラトロンが点火して水中放電用の高電圧急峻インパルス（ $-10\text{kV}$ 以上）が水中放電電極に印加される。第1遅延パルス発生器のトリガー信号は第2遅延パルス発生器にも送られるので、第2遅延パルス発生器において任意の遅延時間を設けることにより、スパーク光源による衝撃波撮影のタイミングを定めることができる。今回の撮影法は同一衝撃波を逐次追っていくのではなく、衝撃波を複数回発生させ、各タイミングで撮影する方法である。

実験は縦25cm、横40cm、高さ28cmの水槽中で行われ、水には放電を安定させるため、気泡のない蒸留水を使用した。放電電極を固定する楕円体には長/短径比が同じの短径20mmと10mmのものを使用した。また圧力測定には立ち上がり早く（50ns）、プローブ直径が小さい（1.2mm）Mueller-Platte Needle Probe（（株）ノビテック）を使用した。

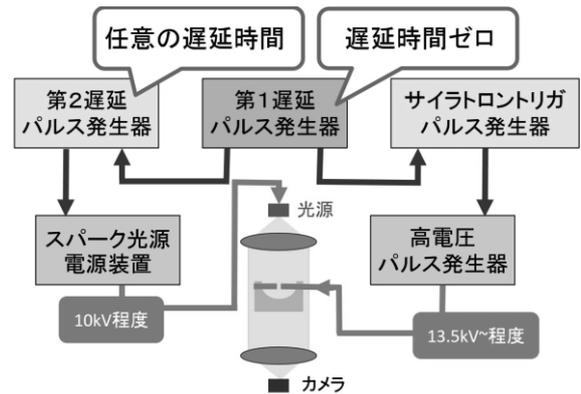


図4 実験装置概略図

#### 1. 短径20mm二次元半楕円体反射衝撃波の収束

本実験<sup>(9,10)</sup>では楕円板（長径25mm、短径20mm、幅20mm、焦点距離7.5mm）の第1焦点に設置したタングステン電極間で水中火花放電させた。電極間隙は0.2mmである。また、回路の放電コンデンサー $C_1$ 、 $C_2$ の容量はそれぞれ4000pFとした。水中での衝撃波の収束過程は上記ナノスパーク光源（パルス幅60ns）を用いたシュリーレン撮影法を用いて写真観測した。

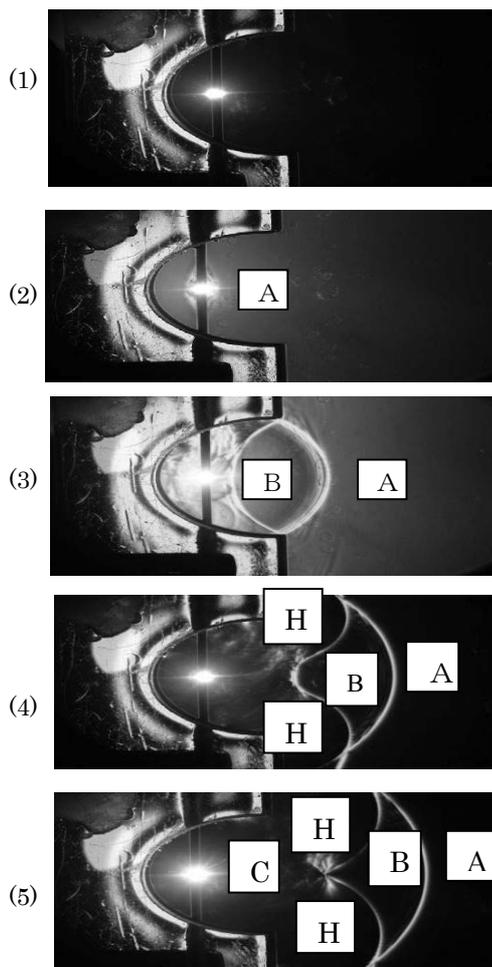


図5 衝撃波収束過程（短径20mm二次元楕円反射体）

図5に放電とその後の衝撃波の動きを示す。写真(1)

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。このとき水中放電の供給電圧は14kVである。

写真(2)は(1)より3 $\mu$ s遅れて撮影したもので、Aは放電によって発生した圧縮波を表す(後に衝撃波になる)。写真(3)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が写真(4)で見られる。写真(5)は、反射衝撃波の収束を示す。写真(4)、(5)より衝撃波は第2焦点付近に収束することが分かった(Bの部分が狭くなってきている)。放電開始後、16~17 $\mu$ sで収束する。なお波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と思われる。

宮田ら<sup>(11)</sup>は衝撃波収束点と幾何学的第2焦点は一致せず、その後方に収束点は存在すると結論している。本実験では楕円形状が宮田らの実験装置に比較して小さいので、精密には観測できないが、収束点は幾何学的第2焦点よりわずかに右側(後方)にあると推測できる。このときの衝撃波圧力は2MPa以上である。

## 2. 短径10mm二次元楕円体反射衝撃波の収束<sup>(12,13)</sup>

短径10mmの二次元楕円体反射板を用いて、圧力プローブの位置を少しずつ変え、シュリーレン写真撮影を行った。このときの放電後6 $\mu$ sから放電後11 $\mu$ sまでの衝撃波収束過程を図6に示す。水中電極側パルス発生器、ナノスパーク光源への供給電圧はどちらも10kVである。また今後C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>の値は図2に示す通りである。

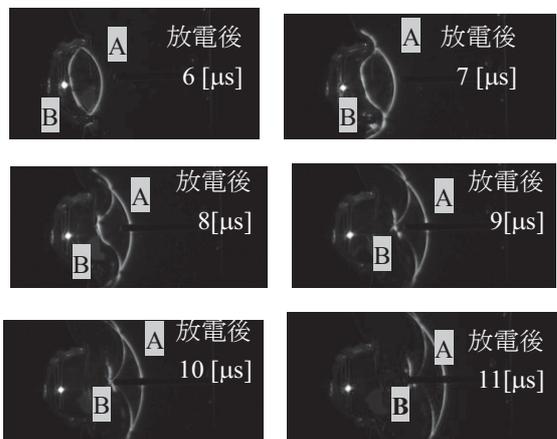


図6 衝撃波収束過程(二次元楕円体反射板)

図6において、左側が楕円体反射板、強い発光部が放電位置(第1焦点)である。時間経過とともに右方向に進行している白色の円弧が衝撃波を示す。右側から長軸にほぼ平行に棒状の圧力プローブ(黒く見える)が挿入され、先端波Aの真ん中を貫通する。波Aは発生後、反射板の影響を受けずに進行する直接波であり、第一波とする。Bの波は反射板で反射後右に進行する波であり、第二波とする。

放電後10 $\mu$ sにおいて、圧力プローブ先端部近傍での衝撃波の収束が確認できる。この位置での衝撃波圧力は、第一波では4.29MPa、第二波では3.87MPaであった。反射板の横幅が狭く(10mm)、進行する波が横方向に広がってしまい、十分な収束ができないため、第二波圧力が大きくならないと考えられる。医療応用を目指した衝撃波収束のための火花放電装置として、二次元楕円体反射板を用いることは望ましくないと考えられる。

## 3. 回転楕円体反射板を用いた衝撃波収束実験<sup>(12),(13)</sup>

短径10mmの回転楕円体反射板(断面形状は二次元と同じ)を用いて、第2焦点近傍で圧力プローブの位置を少しずつ変え、最大圧力を測定した。水中で簡易なステージに電極側を固定し、圧力プローブ側を第2焦点近傍で少しずつxyz方向に移動して測定した。

このときの圧力電圧波形を図7に示す。

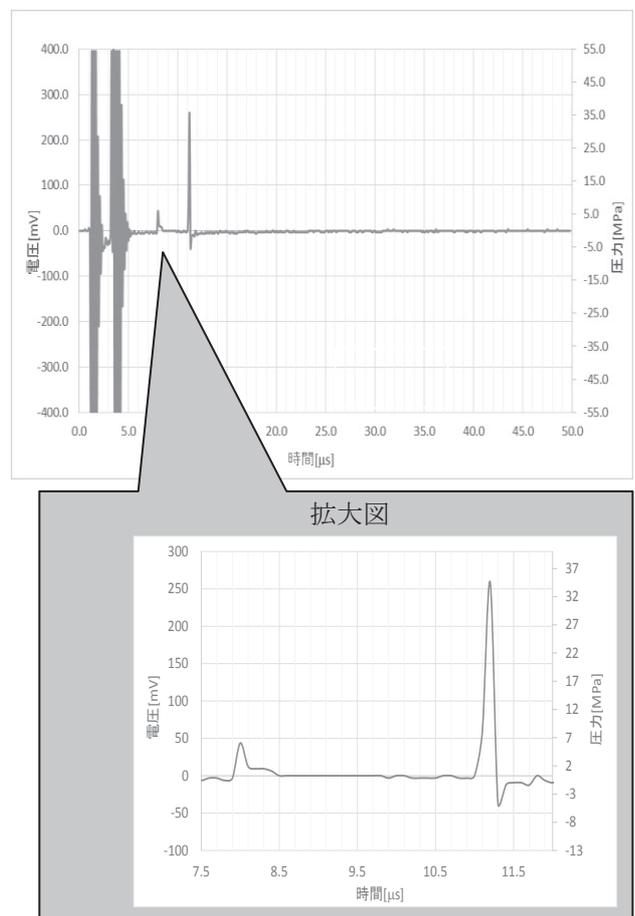


図7 収束位置における圧力(電圧値)

図7左部において、6 $\mu$ sまでに見られる比較的高い電圧は放電に伴い発生したノイズである。圧力プローブの出力値(0.727mV/bar)から換算すると、第一波は6.01MPa、第二波は35.6MPaである。

圧力プローブを圧力最大位置に合わせたときの放電

後 6 $\mu$ s から放電後 11 $\mu$ s までの衝撃波収束過程を図 8 に示す. 水中電極側パルス発生器への供給電圧を 10kV, ナノスパーク光源への供給電圧を 13kV とした.

図 7 では, 2 つ目の大きなノイズが水中放電開始のタイミングと考えると, 放電後 8 $\mu$ s に第二波が圧力測定プローブに到達している. 一方, 図 8 の放電後 8 $\mu$ s においては, 反射板の形状に倣い, 進行方向に開いた立体半円状で反射された衝撃波がプローブ先端部付近に近づいており, 収束衝撃波であると確認できる. 細胞破壊には約 20~30MPa の圧力があればよいと言われており, 本研究成果であるピーク圧力 35.6MPa, パルス幅 0.12 $\mu$ s の圧力パルスは, 従来の研究における値に比べて医療応用には優れていると言える. 医療応用としてはカテーテルの先端に本電極を取り付け, 体内の癌などの患部をピンポイントで照射して壊死させるなどが考えられる.

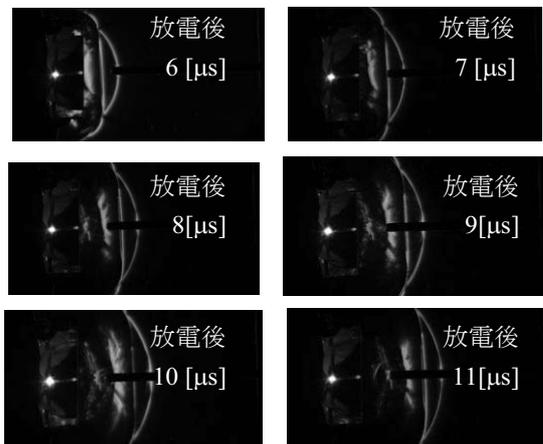


図 8 衝撃波収束過程 (回転楕円体反射板)

#### IV まとめ

二次元楕円体反射板及び三次元回転楕円体反射板を用いた水中放電衝撃波収束過程の可視化と圧力測定を行った. 二次元楕円体反射板を用いたときの第 2 焦点収束圧力は, 直接波に比べて大きくなることはなかった. 回転楕円体反射板においては圧力プローブを第 2 焦点に近い特定の位置に置いたとき, 第一波の約 5.9 倍である 35.6MPa の高圧力を得ることができた.

今後の課題としては, 体内に装置を導入するため装置全体の更なる小型化を目指し, より径を小さくした回転楕円体反射板を製作する. また, 衝撃波圧力の大きさにばらつきが見られるため, 電極部分の改良を行う必要がある.

終わりに自動車用火花点火装置が医療に応用できることが分かったことは大きな成果である.

本研究の遂行にあたり, 阿南高専卒業生, 三柘愛菜氏から熱心な協力を頂いた. ここに感謝致します.

#### 参考文献

- (1) Chaussy C, Schmiedt E, Jocham D, Schüller J, Brandl H, Liedl B, “Extracorporeal Shock-Wave Lithotripsy (ESWL) for Treatment of Urolithiasis”, *Urology*, 318, pp. 393-397 (1988)
- (2) Chaussy C, “Extracorporeally Induced Destruction of Kidney Stone by Shock Waves”, *Lancet*, pp.1265-1268 (1983)
- (3) Groenig H, Shock focusing phenomena, In: Bershader D, Hanson R(eds), 15<sup>th</sup> Int Symp Shock Waves and Tubes, Stanford, USA, pp.43-56(1986)
- (4) K. Izumi, S. Aso and M. Nishida, “Experimental and computational studies focusing processes of shock waves reflected from parabolic reflectors”, *Shock Waves* 3, pp. 213-222 (1994)
- (5) 高山和喜, “衝撃波ハンドブック”, シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社・東京, p.3, p.7, p.85, pp.686-688, p.872, p.889 (1995)
- (6) 五十鈴川浩児, 堀内誠, “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, pp.475-480 (1990)
- (7) 中川桂一, “水中衝撃波装置の小型化に関する研究”, ライフサポート, Volume 21, p.45 (2009)
- (8) 山本裕朗, 高山和喜, 下川宏明, “Q スイッチ Ho:YAG レーザ光を用いたファイバ先端形状による水中衝撃波の挙動変化”, 平成 25 年度衝撃波シンポジウム講演論文集, p.143 (2014)
- (9) 三柘愛菜, “水中放電により発生した衝撃波の楕円体反射・収束過程の光学可視化と収束圧力測定”, 阿南工業高等専門学校専攻科特別研究論文 (2014)
- (10) 三柘愛菜, 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, p.90 (2013 年 9 月徳島大学)
- (11) 宮田智泰, 吉田省三, 平井恒夫, 今井田 豊, “間隙放電により発生した水中衝撃波のフォーカシングに関する研究”, 平成 4 年度衝撃波シンポジウム講演論文集
- (12) 中尾 愛, 今井武史, 西尾峰之, 宮城勢治, “医療応用のための超小型水中放電衝撃波収束装置の開発研究”, 2016 年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会, 講演番号 Aa-6
- (13) 中尾 愛, “水中放電による収束衝撃波の可視化と圧力測定”, 阿南工業高等専門学校卒業研究論文 (2016 年 2 月)

# MRI を用いた 3 次元流動測定

徳島工業短期大学 榎田 直人

Keywords : MRI, スロットルバルブ, 三次元流動特性

## I 実験の目的

現在, 多くの自動車で省燃費化に伴う電子制御が行われており, 自動車用エンジンでは緻密な制御が行われている。しかし, 使用していく過程で, エンジン内部は汚れによる性能低下を招くことが多くあり, 整備士は分解整備によるメンテナンスを行っている。本研究では吸入空気流路であるスロットルボディの内部流動について着目し, 研究をおこなった。

多くの自動車には電子制御式スロットルが用いられている。基本的な目的は省燃費化である。CVT を採用する車両は, 変速機の制御とスロットル制御を協調させる事で, エンジン回転数を抑え, 省燃費運転を行いやすくしている。同様に EGR においてもスロットルを協調させることでより大量, 精密な導入が可能となるため EGR を積極的に利用するには必要な機構といえる。

従来のケーブル式スロットルではアイドル制御に必要であった ISCV を無くしている。アクセルペダルが従来のようなエンジン回転数を調整する機構ではなく, 主に速度を調整させる機構とし, その中身をブラックボックス化する事で, 運転者の入力とは無関係にコンピュータがエンジン回転数を上下させることが可能な点に於いて, スロットル・バイ・ワイヤはこれらの機構に適している。

しかし, 自動車在使用していく過程でスロットルやインテークマニホールドに汚れが付着する。これが原因となり, アイドリング不調等の不具合が発生する。

本研究では, スロットルボディ内における吸入空気の流れを可視化する手法の構築を目的とする。どのような流動が起こっているのかを確認することで, 汚れの付着原因や予防対策ができるようになる。可視化の方法は従来の PIV ではなく, 医療用 MRI 装置を用いて, この目的が達成できるように周辺機器の準備や制作, 測定結果について報告する。

## II 実験装置

### 1. 実験装置概要

実験には GE Healthcare 製 BRIVIO355 1.5T 医療用

MRI 装置を用いた MRI 試験装置を用いたスロットル流路の 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スロットル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ス熱電対を取り付け, 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,  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  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。

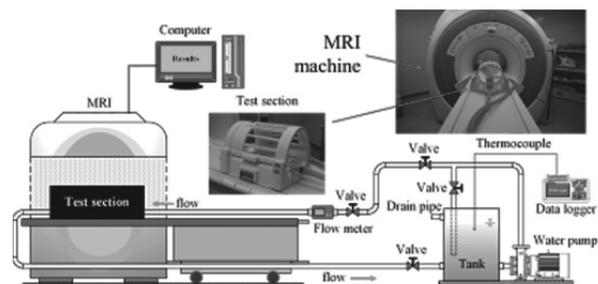


図 1 MRI 装置概要

## 2. 実験装置の制作

液循環装置の目標とした性能を以下に示す。

- (1) スロットル流路で  $Re = 1,000$  以上が確保できる。
- (2) 硫酸銅に対して耐腐食性がある。
- (3) MRI 室における磁場に対応でき、撮影される画像に影響がないこと。
- (4) 人力で持ち運びし易く、移動出来る最大質量 (約 100kg 以下) とする。
- (5) 流量計を備えており、流量設定がしやすいこと。

以上の性能を満足する液循環装置として表 1 に示す機器性能を有する液循環装置を設計・製作をした。

表 1 液循環装置に使用の機器

品名	型式・性能
ポンプ	サンソー製 マグネットポンプ PMD-581B2E 最大流量 35[l/min]標準全揚程 5[m]
ステンレス製タンク	63[l]
25 mmホース	MEGA サンプレーホース
流量計 (カルマン流量計)	PF3W720 最大 40[l/min]
T 字管, エルボ	SUS304 製
開閉弁	SUS304 製
20mm ホースバンド	SUS304 製
ナイロンベルト	
台車	プラスチック製 4 コマ
ボルト・ビス	SUS304 製 (コンパネ材にタンク, ポンプなどを固定)

循環させるポンプはサンソー製 マグネットポンプ PMD-581B2E を使用した。小型、軽量で軸封部のないポンプで、液漏れは無く樹脂製のため、腐食性に優れ腐食性を持つ液など特殊液の昇圧に適している。ポンプ駆動はマグネットカップリング方式によるシールレスで、ポンプ部の液漏れ・腐食は無く、ポンプ回りの汚れやメカニカルシール交換の必要がない特徴を有する。

選定したポンプの主要部はポリプロピレン製で、軸はセラミック、軸受はテフロン(ルーロン)、O リングはフッ素ゴムといったケミカル用に適した素材を使用しており、液の汚染や電食現象もなく、ケミカル用としてごく一部を除いて酸、アルカリなどの化学液移送に使用する

ことが出来る。製作した液循環装置を図 2 に示す。

このポンプの性能は最大流量 35L/min 全揚程 5m である、実際に流量計、供試体、ホースを接続して稼働させると 24L/min が最大流量となった。

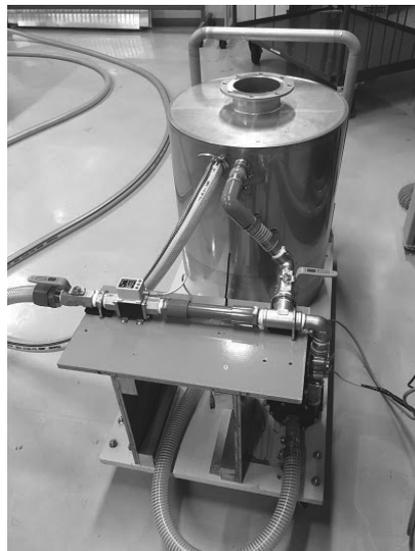


図 2 液循環装置

## 3. カルマン渦式流量計

MRI 試験における作動流体の流量を測定する方法として種々考えられたが、最終的にはカルマン流量計を選んだ。選定した流量計を図 3 に示す。以下にカルマン流量計の特徴を述べる。

メリット

- (1) 構造が簡単で堅牢かつ機械的可動部がなく、定期点検が不要。渦発生体は磨耗しにくい形状。
- (2) 精度がよい。(10mm 以下の小口径を除き) 誤差は指示値の 1% が一般的で、流量が下がっても、積算流量精度は低下しない。
- (3) 流量範囲が広い。精度を保証する最大最小流量比が、液体の場合で 10 : 1 から 15 : 1 程度ある。
- (4) 多種類の流体に適合。液体、気体、蒸気と多種類の流体が測れる。
- (5) 圧損が少ない。渦発生体による圧損は、オリフィスによる圧損より小さい。
- (6) パルス信号が直接得られる渦の数を数えているため、信号が直接得られる。瞬時流量(アナログ信号)からパルス信号を作り出す方式と違って、余計な変換誤差が生じない。

デメリット

- (1) 直管部が必要. 差圧式流量計, 超音波流量計と同様, 流量計の上流側に口径の10倍, 下流側に5倍程度, 配管状況によってはさらに長い直管部を必要とする.
- (2) 振動に弱い. 流量計には, 様々な外部振動が配管を通して伝わってくるが, 渦検出素子がこの振動を拾い, 偽の流量信号を出力することがある.
- (3) 脈動流に弱い. ポンプは, 流速が周期的に変わる脈動流を作り出す. 脈動と渦の発生周波数が近いと, 両者が同期してしまうことがある.
- (4) 高粘度流体に不適. 流体の粘度が高くなると, 精度を保證できる下限流量が上がる. 下限流量以下でも信号は出るが, これにも限界があり, 限界を超えると信号が消える.
- (5) 低流量で信号が消える. 流量がある値以下に下がると信号が出なくなる.



図3 流量計 (カルマン流量計) PF3W704S

#### 4. ホース及び接続方法

配管に用いたホースについては一般用給排水用 PVC 製ホースを使用していた. 接続部分にはステンレスバンド (RF アンテナ外) 樹脂製結束バンドおよび接着剤 (RF アンテナ内) としていた. 図4に接続状態を示す.

ホースについては低温時に硬くなって取り回しにくくなり, 何度も組み付けを繰り返すと伸びや割れが発生した. そして接続バンドでは, 実験準備や実験終了後の片付け時に毎回バンドの取り付け, 取り外し作業に時間を要していた, また締め付け不良時には漏れが発生することもあり, より確実な接続方法とする見直しをおこなった.

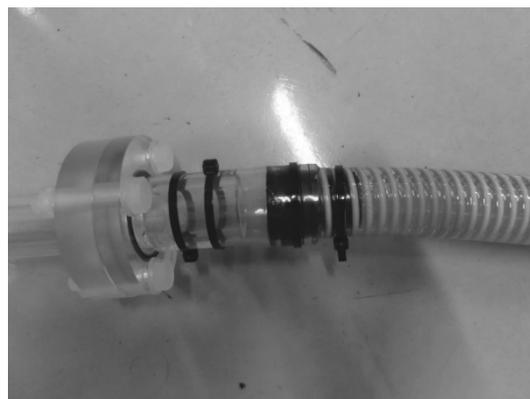


図4 結束バンドとステンレス製バンドによる接続

ホースについては図5に示す, 十川産業製 MEGA サンプレーホース SB25 最高使用圧力 1Mpa 最小曲げ半径 100mm 軟質ポリ塩化ビニールにポリエステル糸を格子状に挟んだ上に軟質塩化ビニールで覆った構造のホースを選定した. またホースにガイドラインが印されていることで捻じれが把握しやすい.



図5 十川産業製 MEGA サンプレーホース

接続ジョイントには図6で示す、リガルジョイント  
カンタッチ TH25-3/4-S-Nを選定した。

選定理由について記述する。使用方法については図7  
を参照のこと。

- (1) ホースバンドを使わず、袋ナット式と二重ロック  
構造でしっかりロックすることができる。
- (2) ナットを最後まで締めるだけで、誰でも確実・安全  
に締められる。
- (3) ナットをゆるめるだけで、金具ごとはずれるので  
メンテナンスが容易にできる。



図6 リガルジョイント カンタッチ  
TH25-3/4-S-N

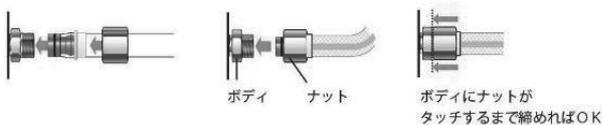


図7 カンタッチ使用方法

テストセクションへの接続は、接着剤による完全固定  
にステンレス製バンドの補強で、フランジとホースを一  
体構造とすることで漏れを防ぐこととし、ホース同士の  
接続はカンタッチジョイントで対応した。結果としてホ  
ースの取り回しのし易さや、カンタッチジョイントの確  
実な接続により、信頼性の確保と準備および片付け時間  
の大幅な短縮ができた。

## 5. スロットルボディのモデル化

図8にクラウンスロットルバルブを示す。実車ではアル  
ミ製のスロットルボディに金属製のスロットルバルブ  
となっているが、MRI装置では磁性体となる金属は使用  
できない。

クラウンの暖気後におけるアイドリング時のスロット  
ルバルブ開度は15.7% 吸入空気量は2.8g/s エンジン  
回転数660rpmであった。その時のスロットルバルブ隙  
間は0.2mm~0.3mmであった。



図8 クラウンスロットルバルブ

図9に制作したスロットルボディ模型を示す。本研究  
では現車と同様の流路大きさにするので、どのような  
測定結果になるのかを検証する。流路の整流部分は直径  
16mmのガラス球を入れ、流れを等方性にした後、チャ  
ンバー部からポリカプラダン（ポリカーボネイト製中空  
板）4mm厚さを積層して接着したものを製作した。そし  
て流路大きさに合わせて流路内に設置し、流れの渦成分  
を消滅させ一様な流れをスロットルバルブ流路に供給し  
た。

また使用したMRI装置の分解能は0.6mmであるが、今  
回分解能より小さい隙間からの流れについての検証もお  
こなう。

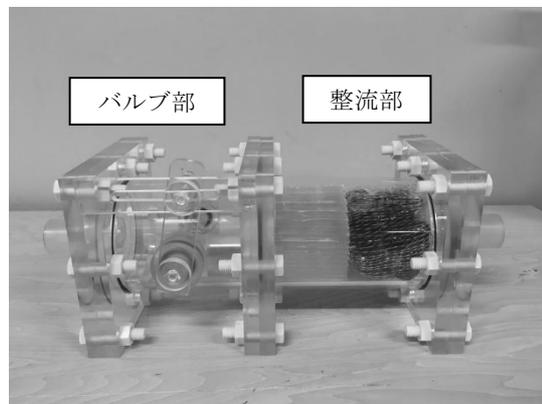


図9 制作したスロットルボディ模型

今回測定に使用した頭部用RFアンテナを図10に示す。  
このRFアンテナを使用した理由はMRI装置において精  
度が高く、入り口、出口ともに開口している為、テスト  
セクションへの配管がし易い為である。

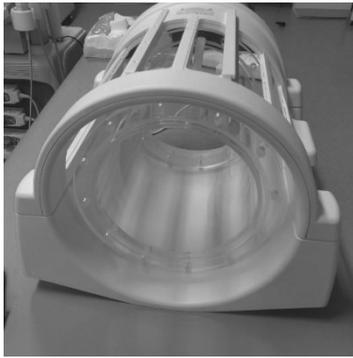


図 10 頭部用 RF アンテナ

### III 実験結果

#### 1. 実験条件

MRI 装置で三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三次元磁気共鳴映像法 (3DPC 法) を用いた<sup>[1][2]</sup>。3DPC 法における測定可能最大流速は 550cm/s である。MRI 試験装置でスロットル流路の三次元流動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 0.6mm<sup>3</sup> を有する。実験は同一レイノルズ数  $Re=1,000$  でスロットルバルブを 2 条件変化させた計 2 条件の実験が実施された。実験条件を表 3.1.1 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。

表 2 実験条件

バルブ隙間[mm]	$Re_d$	流量 $Q$ [ℓ/min]	NEX
0.2	1,000	6.6	5 回
0.3	1,000	6.5	5 回

#### 2. 実験結果

図 11 にスロットルバルブ隙間 0.2mm での流速分布図を示す。スロットルバルブ隙間部分では隙間に向かって流れていく様子が確認できる。その後スロットルバルブ隙間を通り X 軸 15mm 付近からスロットルボディ底面に沿って流れている様子が確認された。

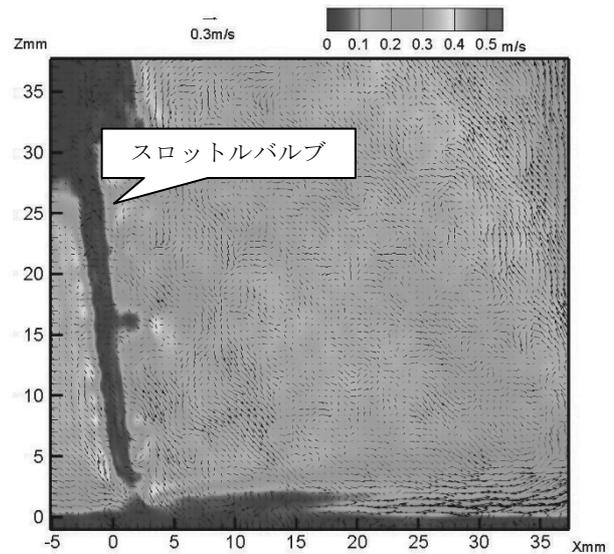


図 11 バルブ隙間 0.2 mm

図 12 にバルブ隙間 0.3 mm の流速分布図を示す。スロットルバルブ隙間に向かって流れていく様子が確認される。その後 X 軸 7mm 付近からスロットルボディ底面に沿って流れる様子が確認された。

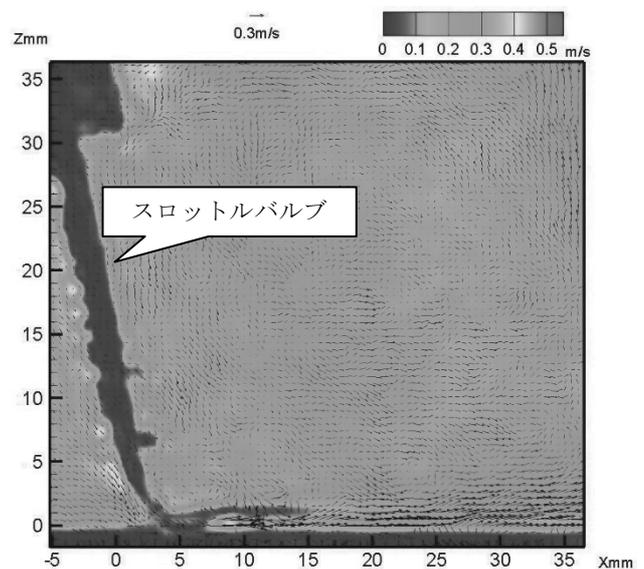


図 12 バルブ隙間 0.3 mm

### 3. 考察

今回の実験では分解能が高い頭部用 RF ヘッドコイル内に納まるサイズということ、現車のスロットルボディの大きさに合わせてモデル化をして実験をおこなった。

その結果スロットルバルブ隙間 0.2 mm ではスロットルバルブ隙間周辺の流速については青く表示され信号値が弱くなった,これは MRI 装置の分解能以下の隙間では,信号値が得られない事と NEX5 回とすることで信号値が平均化されることで弱くなった為と考える。

スロットルバルブ隙間 0.3 mm では隙間周辺の流れについて可視化することができた,しかしバルブによる渦や複雑な流れは平均化されることにより,信号値が低く表示された。

またスロットルバルブ上流部分では整った流れが,スロットルバルブ後流部分では決まった流れではなく,複雑な流れとなっていることが確認された。

このようなスロットルバルブ後方で淀んだ流れにより,吸入空気中の EGR によるオイル分やエアクリーナで取り除くことが出来なかった微粒子がインテークマニホールド内に付着することで汚れの原因となっていくと考える。

### IV まとめ

MRI 装置の機能のひとつである三次元磁気共鳴映像法 (3D-PC 法) をスロットルボディの流速分布に用いたことから以下のことが明らかになった。

MRI 試験装置を製作する上で特有の注意を払うべき事項を明らかにした。具体的には,液循環装置および流量計については,硫酸銅水溶液に耐える耐酸性が必要である,また実験終了後は硫酸銅水溶液を排出し,液循環装置および流量計を清掃することで,硫酸銅水溶液に腐食されることを防いだ。

供試体については, MRI 撮像データに影響が無い非磁性体であること,循環させる硫酸銅水溶液が漏れないようにする為,各接続部分には O リングを組み込んで製作した。供試体のホース接続部分となる部分にはステンレスバンドを使用した, RF アンテナから離れた位置とすることで撮像データへの影響を無くすことができた。ポンプから供試体までの配管には,配管途中に分割できるカンタッチジョイントを組み込むことで分割できるようにした。このことにより配管時間の短縮および繰り返す接続に耐えることが出来るようになった。

MRI 装置を用いてスロットルボディ流路の三次元流速測定が可能である事を実験的に明らかにした。具体的

には,スロットルボディ内の流れる流速分布および速度ベクトルを測定することができた。

この様な三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られる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり「一般社団法人 東京自動車技術普及協会」からの助成金を受け賜りましたことに記して,感謝の意を表します。

### 参考文献

1. 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.
2. 尾崎正則 "MR 専門技術者認定試験対策講座 その 1 S/N 比測定, 均一性測定"  
(<http://kanamri.umin.ne.jp/18-2.pdf>)

# 物理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 : 物理, 温度, ボイル・シャルルの法則,

### 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1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。

1. 気体の温度と圧力の関係式を理解し、絶対零度を求める。
2. データの取り方、表し方についてまとめる。

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. ボイルの法則

気体の体積は圧力を変えると容易に変化する。温度が一定の条件下で、圧力を2倍、3倍にすると、気体の体積は2分の1、3分の1になることが確認されている。つまり、一定量の気体では、湿度一定のとき、体積は圧力に反比例する。この法則は1622年ボイルによって発見されたので、ボイルの法則とよばれる。ボイルの法則は圧力を $P(\text{Pa})$ 、体積 $V(\text{m}^3)$ とすると、

$$PV = \text{一定 (温度一定のとき)}$$

#### 2. シャルルの法則

圧力一定のまま気体の温度を下げると、体積はだんだん小さくなり、逆に温度を上げていくと、体積は大きくなる。実験によると、 $0^\circ\text{C}$ のときの体積を $V_0(\text{m}^3)$ 、 $t^\circ\text{C}$ のときの体積を $V(\text{m}^3)$ とすると次の関係が成り立つ

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273}t \right)$$

ここで $\frac{1}{273}$ は気体の体積膨張率を表している。また、この式を絶対温度 $T$ で表すと、

$$T = 273 + t \text{ より}$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

体積膨張率とは単位体積、単位温度あたりの体積の膨張する割合のことをいう。

#### 3. ボイル・シャルルの法則

ボイルの法則とシャルルの法則をまとめたものを、ボイル・シャルルの法則という。一定量の気体の体積 $V$ は、圧力 $P$ に反比例し、絶対温度 $T$ に比例する。これを式で表すと次のようになる。 $R$ は定数。

$$\frac{PV}{T} = R$$

### IV 実験方法

準備した実験装置の実験方法について説明する。表1に使用した実験装置を示す。

表1 実験装置

	メーカー	型式
圧力センサー	PASCO	CI-6532
測定器	島津	—
マルチメータ	SANWA	CD731a

#### 4. ボイルの実験

- (1) 圧力センサーの丸型コネクタを測定器電源ユニットのジャックに差し込む。
  - (2) マルチメータを測定器電源ユニットの電圧測定端子に接続する。
  - (3) シリンジを最大にした状態でコネクタに差し込む。
  - (4) 圧力センサーの“PRESSURE PORT”にまっすぐ差し込み、カチンと音がするまで右回りに回転させる。
  - (5) 容積を2ccずつ小さくしながら、マルチメータの電圧値を記録する。目盛りが6ccになるまで繰り返す。
  - (6) 目盛りが6ccになれば、2ccずつ大きくしながら、マルチメータの電圧値を記録する。
- #### 5. ボイル・シャルルの実験 (加熱) について、図1に示す実験装置の操作手順を記述する。
- (1) 温度センサー、圧力センサーの丸型コネクタを測定器電源ユニットのジャックに差し込む。
  - (2) マルチメータを測定器電源ユニットに接続する。
  - (3) 三角フラスコにゴム栓をしっかりと差し込む。确实

に差し込まないと、圧力がかかったときに外れるので注意する。

- (4) ゴム栓の管に圧力センサー付属のチューブを差し込む。
- (5) IH ヒータ上に加熱容器を置き、その中に三角フラスコを設置する。
- (6) 温度センサーを加熱容器に差し込む。
- (7) 加熱容器に水を入れ加熱を行い約 90℃まで温度を上げ、加熱をやめる。
- (8) 5℃ずつ温度が上昇したときの、圧力の電圧値を記録する。



図1 ボイル・シャルル（加熱）実験装置

6. ボイル・シャルル（冷却）実験，図2に示す実験装置の操作手順を記述する。
  - (1) 温度センサー，圧力センサーの丸型コネクタを測定器電源ユニットのジャックに差し込む
  - (2) マルチメータを測定器電源ユニットに接続する
  - (3) 三角フラスコにゴム栓をしっかりと差し込む。確実に差し込まないと，圧力がかかったときに外れるので注意する
  - (4) ゴム栓の管に圧力センサー付属のチューブを差し込む
  - (5) ビーカーの中に三角フラスコを設置する
  - (6) 温度センサーをビーカーに差し込む

- (7) ビーカーに熱湯を入れ約 90℃まで温度を上げる。
- (8) 90, 85, 80, 75…℃と 5℃ずつ温度が低下したときに，圧力の電圧値を記録する



図2 ボイル・シャルル（冷却）実験装置

## V 工学実験での測定

2016年12月に機械創造工学科1年生を対象に物理実験をおこなった。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，実験の注意点説明
4. 実験・測定実施
5. 測定内容の確認
6. レポート提出の説明

測定条件は室温 20℃，1013hPa とした。ボイル・シャルル(加熱)実験では IH ヒータの出力調整を行い，急激な温度上昇とならないようにした。

ボイル・シャルル（冷却）実験では室温の状態では冷却がスムーズに行われないうえ，ダイソン扇風機を使用した。またその際ビーカー内の温度が一樣となるように攪拌を行った。

データをとる基本として1回の実験結果だけではなく，4回実験を行い，その実験結果をまとめるように指示をおこない，実験を実施した。

レポートについても自分以外に2名の学生によるクロスチェックを行ってから提出するようにした。

## 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。

IH ヒータや熱湯を使用する実験なので火傷について注意をしながらの実験となった。注意についてその都度声掛けを実施し、問題なく実験を実施することが出来た。

測定については失敗する班があったが、ほとんどが測定プローブの設定ミスや設定温度の測定ミスであった。

22名の学生に対して加熱の実験装置2セット、冷却の実験装置2セットのローテーションで実験を行った、各実験装置5～6名の実験人員となり、実験中に測定結果を書き写すだけになる学生がいた。今後は実験装置の個数を増やして3～4名程度の実験人員で全員が実験に参加出来る体制が良いのではないかと考える。

それぞれの学生には得意分野、不得意分野があり、お互いに教えあい考え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。

## Ⅸ まとめ

今回、物理実験の要領書製作から始まり、測定機器の準備、実験実施と担当した。実際に製作してみると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、実際に実験する事で多くの理解を得ることが出来た。

以前に制作されたマニュアルでは、写真による説明が乏しく、私自身、実験装置の設定に戸惑うことがあった為、写真による解説や実験装置概要図を取り入れることで、実験準備がスムーズに行えた。

学生同士のクロスチェックによって、極端な間違いや一人だけ実験結果や計算結果が違う等の間違いを無くすことが出来た。

今後は測定についても学生が考え、実験・測定することで温度と圧力の関係についてより一層の理解と興味が得られると考える。



# 四国EVラリー2016

徳島工業短期大学 多田好宏・吉田愛二  
自動車工業学科 大森海斗・土井大輔

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・プレリウド、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を製作してきた。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。今回は兵庫県洲本市で開催の四国EVラリーinあわじ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定

2016年9月17, 18日に兵庫県洲本市にあるAmaz技術コンサルティング合同会社で開催されたEVラリーに参加した。前日の昼過ぎに出発し15:00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の視察をし各自どのレグを担当するのかを相談して翌日の大会に臨む準備をした。今回のレグおよびポイントについては、参考資料表1に示す。



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7時間で、EVラリーロングディスタンス①のスタート、車の調子を見る為にレグ5のサンセットパーク五色「夕日が丘公園」折り返しの5ポイントに挑戦。走行距離1.2km使用した電力および時間は、2Ah・20分でその後レグ4 ウェルネスパーク五色「おふさ茶屋」(13ポイント)13km,電力6.56Ah・35分で第1回目の充電25分間ほぼ満タンレグ8-2の南あわじ市福良にある淡路人形座(34ポイント)を目指し出発、その後レグ7おのこの島神社(20ポイント)に挑戦、距離52.2km,電力23.05Ah,時間95分で2回目の充電開始(昼食)75分間し39.05Ahになりレグ9-3福良港ジョイボート南淡路とレグ5サンセットパーク五色「夕日が丘公園」に挑戦、距離33.5km,時間85分,使用電力16.22Ahで終了ポイントを加算し初日の合計ポイントは111ポイントで次の日ために充電、16:30~18:00間その後強風・雨の為充電施設撤去、セリカEVも移動する。図2, 図3, 図4, 図5,に示す。



図2 EVラリースタート



図3 レグ5 夕日が丘公園



図4 レグ4 ウェルネスパーク五色



図5 レグ9 福良港ジョイポート南淡路

2日目朝6:30 充電施設の準備が終わりロングディスタンス②が始まり持ち時間は5時間、充電は満タン41.96 Ahで、7:00 スタートレグ4のウェルネスパーク五色「おふさ茶屋」(13ポイント)に会場から出発距離13km、電力6.49Ah・36分その後25分間充電、レグ7のおのころ島神社、レグ5のサンセットパーク五色を回り25ポイント獲得、使用した電力および時間10.46Ahで52分、走行21.8kmで80分充電、その後レグ8-2の淡路人形座(34ポイント) 走行32.2kmに挑戦、使用電力14.76Ah、時間

80分、走行中セリカEVが停止故障モーター起動せず故障箇所は補機類バッテリーの電圧低下バッテリー交換をしてモーター起動その後順調に走行しゴール.図6、図7、図8に示す。2日目は72ポイント2日間で合計183ポイント獲得.11:40~12:20分まで充電し、12:30分から主会場Amaz技術コンサルティング合同会社の周回走行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.図9に示す.



図6 レグ7 おのころ島神社



図7 レグ8 淡路人形座



図8 レグ5 サンセットパーク五色



図9 周回走行

今年度のEVラリーは悪天候であったが大きなトラブルもなく無事終了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

今年は昨年と違い淡路島の中の名所などを回るコースで短距離・中距離・長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した, 参加した学生たちは電気自動車に興味を湧き仲間と力を合わせて物事に接する事の楽しさや, レース中でのメンテナンス方法を学び, その結果により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あけの休日に体験さす事が出来ました。

#### 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。

参考資料 表 1  
今回レグおよびポイント

四国EVラリー2016 in 『あわじ』 レグ行程表&ポイント表

2016.9.17-18

<b>Leg-1</b> [淡路市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	34.5km 0:50	Leg1-1 75 あわじ花さじき 淡路市楠本2865-4	2.3km 0:07	Leg1-2 6(75) 81 淡路景観園芸学校 淡路市野島常盤954-2	10.6km 0:18	Leg1-3 25(80) 106 淡路夢舞台 淡路市夢舞台2	36.5km 0:53	Amaz	全行程 83.9km 2:08					
<b>Leg-2</b> [淡路市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	17.0km 0:24	Leg2-1 35 いざなぎ(伊弉諾)神宮 淡路市多賀740	14.9km 0:24	Leg2-2 25(55) 60 震災記念館 淡路市小倉177	28.7km 0:40	Amaz	全行程 60.6km 1:28							
<b>Leg-3</b> [淡路市・洲本市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	18.0km 0:27	Leg3-1 38 静の里公園 淡路市志筑795-1	6.9km 0:13	Leg3-2 15(35) 53 シーアイガ海月 洲本市安乎町 平安浦1970-6	16.7km 0:25	Amaz	全行程 41.6km 1:05							
<b>Leg-4</b> [洲本市五色方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	6.5km 0:10	Leg4 13 ウェルネスパーク五色 「おふさ茶屋」 洲本市五色町 都志1087(附近)	6.5km 0:10	Amaz	全行程 13km 0:20	<p><b>【解説】</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">レグ番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>区間のポイント (直行のポイント)</td> <td>順番通り進んだ 合計ポイント</td> </tr> <tr> <td>チェックポイント名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amazからの 直接距離</td> <td>チェックポイント住所(附近)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ ポイントは各区間の距離・時間・消費電力等を基に決定</p>	レグ番号		区間のポイント (直行のポイント)	順番通り進んだ 合計ポイント	チェックポイント名		Amazからの 直接距離	チェックポイント住所(附近)
レグ番号															
区間のポイント (直行のポイント)	順番通り進んだ 合計ポイント														
チェックポイント名															
Amazからの 直接距離	チェックポイント住所(附近)														
<b>Leg-5</b> [洲本市五色方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	0.6km 0:05	Leg5 5 サンセットパーク五色 「夕日が丘公園」 洲本市五色町 鳥飼浦2179(附近)	0.6km 0:05	Amaz	全行程 1.2km 0:10									
<b>Leg-6</b> [洲本市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	17.7km 0:31	Leg6-1 45 三熊城(淡路城)洲本城 洲本市小路谷1272-2	2.2km 0:06	Leg6-2 5(40) 50 サントピアマリーナ 洲本市小路谷1276	18.5km 0:37	Amaz	全行程 38.4km 1:14							
<b>Leg-7</b> [南あわじ市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	9.9km 0:15	Leg7 20 おのころ島神社 南あわじ市 榎列下権多415	9.9km 0:16	Amaz	全行程 19.8km 0:31									
<b>Leg-8</b> [南あわじ市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	21.9km 0:32	Leg8-1 48 うずの丘 大鳴門橋記念館 南あわじ市 福良丙936-3	6.4km 0:11	Leg8-2 14(34) 62 淡路人形座 南あわじ市 福良1528-1	16.1km 0:27	Amaz	全行程 44.4km 1:10							
<b>Leg-9</b> [洲本市・南あわじ市方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	29.5km 0:52	Leg9-1 65 立川水仙郷 洲本市由良町 由良2877-22	13.1km 0:23	Leg9-2 28(75) 88 灘黒岩水仙郷 南あわじ市灘黒岩2	19.9km 0:30	Leg9-3 42(34) 135 福良港 ジョイボート南淡路 南あわじ市 福良甲1628-1	16.1km 0:27	Amaz	全行程 78.6km 2:12					
<b>Leg-10</b> [徳島県鳴門方面]	Amaz 洲本市五色町鳥飼浦 3103	28.1km 0:29	Leg10 65 大塚国際美術館 鳴門市鳴門町 土佐泊浦字福池65-1	28.1km 0:30	Amaz	全行程 56.2km 0:59									

# 地域の絆づくり

## — 基礎自治体における地域経営（その1） —

徳島工業短期大学 前田剛・吉田愛二  
徳島市議会議員 岡南均

Keywords : 地域, 基礎自治体, 地域経済

### I まえがき

#### （日本の地方分権時代の幕開け）

2000年（平成12年）に施行された、地方分権一括法に始まる地方分権化の流れは、国から地方に対し、一定程度の財源と権限を移譲するものである。しかし、地方分権化の名の下で実際になされた改革においては、国から地方自治体への移譲は進んだものの、財源の移譲は限定的なものにとどまり、また、国庫支出金や地方交付税等、従来国から地方自治体に支出されてきた財源の削減がなされるなど、地方財政にとっては、手放しで歓迎できるものというまでには至らなかった。

確かに、長引く景気後退によって、国の税収は年々減少しており、また、急速に進む高齢化等に対応した社会保障制度の見直しが必要とされるとの見地に立てば、こうした改革もやむを得ないものと理解する。

この一方で、地方分権化の流れが、地方自治体の自主性と自立性をいっそう高め、地方自治体が自らの判断と責任において行政を運営していくという強い決意を生む機運につながったのも事実である。また、地方自治体そのものも、多様化・高度化する住民ニーズに、国に頼らず地方独自で対応していくことが強く求められるようになった。

### II 地方分権と市町村合併

#### （団体自治・住民自治からのアプローチ）

地方自治の原点は、団体自治と住民自治と解釈されている、日本国憲法第92条に定める「地方自治の本旨」にある。こうした観点に立って、地方分権が進む中で上記した改革によって地方交付税が減らされるということを評価する場合、簡単に言うと、各地方自治体によって実現されることが期待されている団体自治のうち、実際に実現される施策領域が縮小され、それに伴って、住民自治がカバーすることになる。具体的には、次のようなモデルによって、このことを説明する。

まず、地方分権と団体自治との関係について説明する。国・地方の行政の活動領域である公共セクターにおいて、

国と地方自治体はそれぞれ自らの守備範囲を持っている。地方分権が進展すると、国の守備範囲が縮小し、地方自治体の守備範囲が広がる。すなわち、地方自治体が国から独立して行う団体自治の領域は相対的に広がる（図1）。

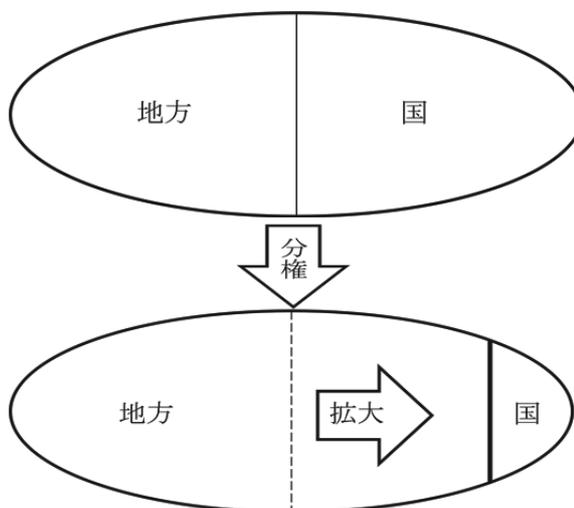


図1 公共セクター

次に、改革によって地方交付税が減らされた場合、地方自治体が使うことができる財源が減ることから、当該自治体によってなされる施策の領域自体は小さくならざるを得ない。しかしながら、公共セクターにおいて地方自治体の守備範囲とされている部分は従来以上に拡大されているわけであり、その部分の空隙については、新たなアクターとしての住民の活動によりその部分が補われることとなる（図2）。

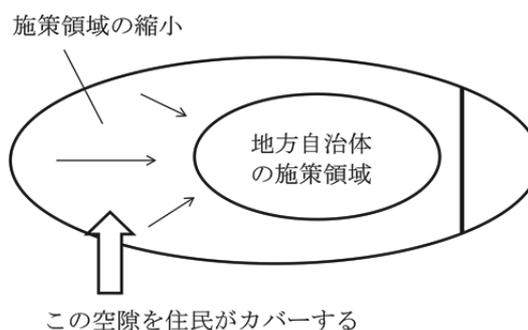


図2 施策後の領域図

このように、地方交付税の減少をとまなう地方分権の流れは、自治体によって実現されることが期待される団体自治の領域を拡大する一方で、当該自治体によってなされる施策領域を縮小することにつながった。特に、弱小自治体にとって、これは大きな脅威であった。こうした中、団体自治を着実に実現するため、個別の自治体によって実施される施策領域を拡大することが求められるようになり、洲町村合併を行うことによってこの脅威に対抗するという潮流が生まれた。

### Ⅲ 地方自治組織を通じた地域経営

合併によりできあがった新しい自治体にとって、物理的な領域や人口も増大したことから、域内の地域経営をいかに行うかが大きなテーマとなった。そこで各自自治体において、域内の地域経営に資する存在として「地域自治組織」の存在がクローズアップされていく。

私は、この地域自治組織の調査・研究を行っており、昨年8月から20自治体の視察を行った。この視察によって得られた知見について、大まかであるが、次のモデル(図3)により説明を提示したい。

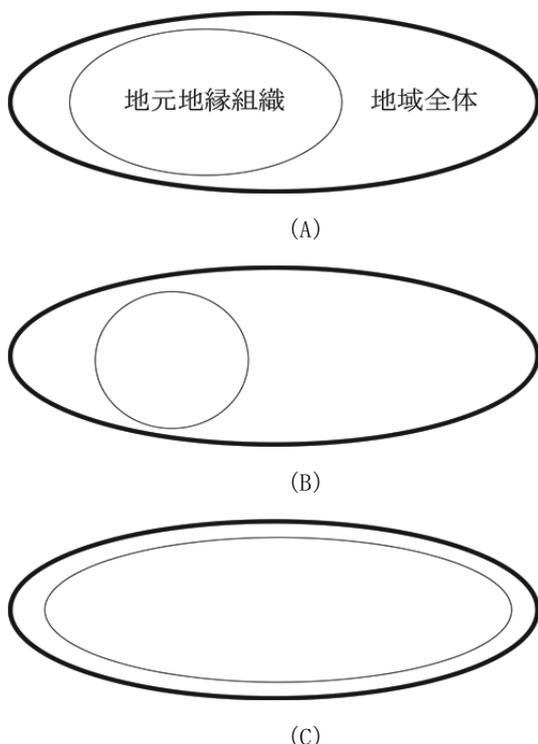


図3 新しい自治組織

これは、町内会・自治会を含む従来からのコミュニティ組織(本稿においては「地元地縁組織」という)と、その地域全体を含んだ新しい自治組織との関係についてのモデルである。このモデルを用いて、それぞれの地域(概

ね小学校区)における地元地縁組織が、小学校区域においてどれほどの位置(割合・勢力)を占めるのか、また、その位置(割合・勢力)に応じて行政の地域施策にどのような違いが生ずるのかを示す。

- (A) は、地元地縁組織が当該地域の6割以上の勢力を占めているケースである。こうした状況において、当該地域全体を対象とした新しい自治組織を立ち上げたとき、多くの苦勞(課題)が生じ、その運営が厳しいものとなる。ほとんどの場合、その問題は人間関係によって生じる問題に集約される。
- (B) は、地元地縁組織の勢力が、当該地域の4割に満たないケースである。この場合、新しい自治組織を設置したとき、一定の問題が生じるものの、新組織の運営に問題が生じることは少なく、地域経営そのものをこの新組織に任せる方が、(A)に比べベターである。
- (C) は、地元地縁組織と地域全体を含んだ新しい自治組織とがほぼ重なるケースである。このケースに関しては、(A)見られるような、人間関係により生じる問題は少ないものの、(A)(B)に比べると、行政による自治組織への関与が大きくなる傾向が見られる。

サンプルが20自治体と少ないことから、早々に判断することは危険であるかもしれないが、これは一つの仮説として成り立ちうるのではないか。

なお、地域自治体を含んだ新しい自治組織の中で、従来からのコミュニティ組織(地元地縁組織)に含まれない存在としては、地域の企業、NPO、事業所、マンション住人(地元地縁組織に入会していない)等があげられる。

### Ⅳ 新しい自治組織の今後の展望と

#### 初期段階における留意点

この新しい自治組織については、各自自治体において、自治基本条例を定めることによって担保されたものが多く、民主主義的な正当性を持つ。したがって、従来からのコミュニティ組織(地元地縁組織)が任意団体であることに比べると、公共性、社会性、信頼性、独立性が高いものと思われる。このことに伴い、その組織の中核となる人々の見識等も、一定レベル以上のものが求められるであろう。

そして、これからの自治体の地域経営において、この新しい自治組織の存在が、地方自治体の本旨で述べられている「住民自治」の基本となるであろう。故にその自治

組織の設置に当たっては、地域住民と行政のより一層の相互理解が必要であると思われる。このため、初期の段階においては、行政職員が主導的にチームワークづくりを行うことが重要である。

## V まとめと今後の課題

地域において、コミュニティ組織（地元地縁組織）の活動が限界にきている中、新しい自治組織の設置に関しては、地域住民への説明や、行政との協働等、多くの問題点が指摘されているのが現状である。

### 参考資料

ここで従来からの地縁組織(呼称は地区により異なる)を列挙し、一部はその組織に、今後取り入れたほうが望ましい点を上げる。

1. 町内会連合会
2. 自治協議会
3. 婦人会
4. 体育協議会
5. 社会福祉協議会
6. 消防分団
7. 自主防災組織
8. 小学校
  - (1) 教育内容にモビリティ・マネジメント教育を取り入れる。地域公共交通に親しむ。小学校で教えきれない教育を地域教育で補完する。
9. 中学校
10. PTA
11. 地元の中小企業
  - (1) 従来、地域の事業にはあまり積極的な参加はしていないが、中小企業振興基本条例に、企業の地域への社会貢献を盛り込むことにより、地域への参加のハードルが低くなる。



## Study on the Heat Transfer and Three Dimensional Flow Field in a Rectangular Duct with a 45-deg Inclined Pin-Fin

Naoto Kushida, Kenichiro Takeishi, Masaki Asahara, Yutaka Oda and Yusuke Motoda  
4th International Forum on Heat Transfer  
Proceedings of IFHT2016 (2016.11), 1-6

### **Abstract**

Endwall heat transfer characteristics of a 45-deg inclined pin-fin array channel have been investigated to improve the cooling efficiency of gas turbine's combustor liners. The time-mean local Nusselt number profiles were obtained by naphthalene sublimation technique based on the heat/mass transfer analogy. 3-D flow of a 45-deg inclined pin-fin channel has been measured by using Magnetic Resonance Imaging (MRI) velocimetry. It is observed that the flow visualization in 45-deg inclined pin-fin arrays is extremely complicated due to the repeated production of the horseshoe vortices and fin wakes. The boundary layer separates and rolls up to form a series of vortices at the leading edge, and vortices wrap around the pin-fins with the main flow leaving stream-wise vortex legs at both sides of the pin-fin arrays. Corresponding numerical simulations using Large Eddy Simulation (LES) with the Mixed Time Scale (MTS) model have been also conducted for fully developed regions, and the results have shown good quantitative agreement with MRI experiments.

## Traffic Accident Simulation System for Traffic Safety Education Based on Mixed Reality Environment

Satoshi Togawa, Suguru Tsujioka, Hirofumi Hirose, Tetsuo Naka and Akihide Takeda  
8th International Conference on Education and New Learning Technologies  
Proceedings of EDULEARN16 (2016.7), 5458-5463

### **Abstract**

In the research, we have built a traffic accident simulation system for traffic safety education. This simulation system provides a newly licensed driver for getting traffic accident experience which the position is a witness of traffic accident. A driving simulator is used for similar purpose. However, the driving simulator provides only driver's view. It provides narrow view and just getting a collision experience. When the simulator provides a witness view, the learner can get more detail how the traffic accident happens with the surrounding situation. Proposed traffic accident simulation system provides a view of traffic accident witness based on mixed reality environment. This system is built on a usual smartphone based on Android platform, and it provides a traffic accident situation using 3D graphics over the real background that is captured integrated camera of smartphone. This system provides a virtual reality environment for learning the traffic accident situation. In this paper, we show the proposed architecture for traffic accident simulation system, and we describe the configuration of the prototype system and experimental results.

## Traffic Accident Simulation System with Pedestrian View for Traffic Safety Education

Suguru Tsujioka, Satoshi Togawa, Hirofumi Hirose, Tetsuo Naka and Akihide Takeda  
5th International Conference on Computer, Electronics and Manufacturing Engineering  
Proceedings of ICCEME-16 (2016.12), 9-12

### **Abstract**

We have constructed a traffic accident simulation system with a pedestrian viewing perspective. The proposed simulation system is based on a virtual reality environment and the system provides a subjective experience of traffic accidents. Driving simulation systems are studied for restraining traffic accidents. In contrast, it is difficult to find a pedestrian simulation system. In this study, we explain the architecture of the proposed simulation system and provide experimental results.

## Springback Analysis of Aluminum Alloy Sheet Metals by Yoshida-Uemori Model

Takeshi Uemori, Kento Fujii, Toshiya Nakata, Shinobu Narita, Naoya Tada, Tetsuo Naka and Fusahito Yoshida

13th Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and its Applications AEPA2016(2016.12)  
Journal of Key Engineering Materials Vol.725 (2016.12), 566-571

### **Abstract**

During the last few decades, the enhancement of prediction capability of the sheet metal forming have been increasing dramatically. High accurate yield criteria and workhardening model (especially, non-linear kinematic hardening model) have a great importance for the prediction of the final shapes of sheet metal. However, the predicted springback accuracy of aluminum alloy sheet metal is not still good due to their complicated plastic deformation behaviors.

In the present research, the springback deformation of aluminum alloy sheet metals were investigated by finite element calculation with consideration of initial anisotropy and the Bauschinger effect. In order to examine the effect of the initial and deformation induced anisotropy on the springback deformation, several types of high accurate yield function and hardening rules are utilized in the present research. The calculated springback by Yoshida 6th yield function and Yoshida-Uemori model shows an excellent agreement with the corresponding experimental data, while the other models underestimate the springback.

## 医療応用のための超小型水中放電衝撃波収束装置の開発研究

宮城 勢治ほか

2016 年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会 講演予稿集 p.7 (講演番号 Aa-6),  
岡山大学 (2016 年 7 月)

### 要旨

医療応用のための衝撃波の活用が 1980 年代から注目され始めたが、現在の医療用衝撃波装置は比較的大型であり、細胞レベルの衝撃波照射実験には不向きである。よって、より高度な収束精度を持ちかつ小型の医療用衝撃波収束装置の開発の需要が高まっている。本開発研究においては短径 10mm の半回転楕円体反射板の第 1 焦点で放電させる装置を開発し、高精度に第 2 焦点に衝撃波を収束させることができることが分かった。

## 自動車エネルギーに関する研究

### —フライホイール式ハイブリッドシステムの可能性実証試験—

助道 永次, 島田 清

自動車整備技術に関する研究報告誌：第 45 号 (平成 28 年度) 40-45

### 要旨

地球環境保全技術開発として国内では、2014 年に燃料自動車(FCV)の市場への導入を実現し 2020 年までに FCV が普及し始めた日本を世界へ発信しようという動きが見られる。しかし、FCV の普及には解決されなければならない課題が依然多く、本格普及にはまだ数十年を要するという意見も多い。一方地球温暖化を含めた地球環境保護は喫緊の課題であり、自動車としては FCV の本格普及までの間はハイブリッド車が主役となると考えられる。

本研究では、運動エネルギー回生手法としてのフライホイールに着目し、フライホイールに蓄積された運動エネルギーを、構造が簡単なクラッチ機構によって動力に変換することにより、その際に発生する運動エネルギーと熱エネルギーの割合を明らかにすることで、最終的には構造が簡単で安価なフライホイールを用いた自動車の燃料消費率向上効果を明らかにする方法について報告した。

## 材料試験とシミュレーション

中 哲夫

塑性と加工 研究解説：(第 57 巻 第 669 号 2016 年 10 月) 18-22

### 要旨

1990 年後半からはシミュレーションの精度向上とともに、板材の軽量化が期待されるようになり、著者らはそのための材料試験と成形性試験を種々の温度とひずみ速度にて特にアルミニウム合金板、マグネシウム合金板を用いて行った。試験は単軸引張試験、深絞り試験、張出し試験 (比例および非比例経路)、摺動摩擦試験や二軸引張試験を行い報告した。近年では操縦性、軽量化と衝突安全性の観点から自動車用鋼板として適用部位が急速に拡大している、高強度鋼板の研究を行ってきた。

板材の試験には大別して応力-ひずみ関係を決定する材料試験と成形性を評価する試験がある。材料試験には単軸引張試験、二軸引張試験、平面ひずみ引張試験、単純せん断試験や液圧バルジ試験などがあり、成形性試験では深絞り試験、張出し試験、穴広げ試験や曲げ試験などがある。

本稿では著者らが行ってきた高強度鋼板 (Dual Phase 鋼) の材料試験については単軸引張試験、二軸引張試験および成形性試験では張出し試験 (比例、非比例経路)、引張曲げ試験について実験の意義、実験技術とデータの意義などについて解説した。

## 水中放電により発生する衝撃波の収束実験

宮城勢治ほか

日本航空宇宙学会西部支部講演会 (2016) 講演集 講演番号 S009, 九州大学 (2016 年 11 月)

### 要旨

医療用衝撃波収束装置の小型化を目的に、水中放電の短パルス化、放電電極の小型化、衝撃波の発生から収束までの衝撃波の挙動調査を実施した。そして最終的には収束圧力の高圧化に向かって研究した結果をまとめた。現段階では講演集には書かなかったが、出口径（短径）は 7mm, 5mm と小型化が可能であること、最高圧力 36MPa, パルス幅 0.12 $\mu$ s が得られたことを発表した。今後、放電の安定化と実用化に向けて研究を重ねていく。

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>

