

## バイオエタノールを利活用した教材としてのレーシングカート製作

内海能亜	埼玉大学教育学部技術教育講座
吉田昌史	静岡理工科大学理工学部
稲田雄二	エナジーファーム (株)
三瓶繁義	千葉県君津市立八重原中学校
北澤彰人	埼玉県川口市立安行東中学校

キーワード: 教材、ものづくり、エネルギー教育、曲げ加工、バイオマス

### 1. 諸言

近年、ガソリンの高騰でハイブリットカーや電気自動車が目目を浴び、その需要も伸びてきている。また、地球温暖化などの環境問題や化石エネルギー問題が多く取り上げられ、持続可能な社会の形成に向けエネルギー教育や環境教育など重要性が高まっている。例えば、小学校・中学校や高等学校では学習指導要領の総合的な学習の時間で、環境問題やエネルギー問題を取り扱うようになってきている<sup>1)~3)</sup>。また、エネルギー環境教育情報センターの平成20年度アンケート調査報告書<sup>4)</sup>によれば、9割以上の学校がエネルギー環境教育の重要性を認識している。さらに、総合的な学習の時間で環境を扱う小学校は87.6%、中学校は66%と高い。ところが、エネルギーについて小学校は15.1%、中学校が9.4%と低くなっており、エネルギー教育に関しての実践は十分に行われていないと報告されている。エネルギー資源を持たない日本にとって、今後も引き続き、エネルギー教育の実施は重要な課題と言え、特に教員養成学校でのエネルギー教育は重要なものと考えられる。

ところで、実際にエネルギー教育を実践している大学は、エネルギー教育地域拠点大学として36校の大学がある。平成14年から、エネルギー教育の普及啓蒙を目指し、小学校・中学校、高等学校、自治体、企業などに対して活動している<sup>5)</sup>。例えば、いわき明星大学は他の大学がまねできない教材として製作した燃料電池カートや4輪バギーを使って児童生徒に体験学習を行っている。

一方、これまでに自動車を題材としたものづくりに関する教育が多くなされ、導入教育として興味・関心を高め、その教育効果も高いと報告されている<sup>6)</sup>。実際の自動車は大きく複雑で取り扱いが難しいため、学校教育現場では、基本構造が同様に簡単な構造のレーシングカートや小型自動車が教材として適用されている。例えば、新エネルギーを導入したバイオディーゼルカート<sup>7)</sup> やアルミニウム合金製接着剤によるフレームのレーシングカートの製作<sup>8)</sup> などが行われている。また、日本のものづくり競技会、代表的なものとして、鳥人間コンテスト、全日本学生フォーミュラ、ソーラーカーレース、ロボコンなどがあるが、これらものづくりを通して、その本質とプロセスを学ぶと同時に創造性と協調性を養うことができる<sup>9)</sup> という取り組みもなされている。

筆者らはこれまでに、バイオエタノールを適用した内燃機関に関する教育プログラムの開発に取り組んできた。大学工学部では機械工学の導入教育として興味・関心を高めるために実施してきた<sup>10)</sup>。中学校技術科の教員養成大学では、バイオエタノール対応型内燃機関を適用し、機械技術に関する実習を行いその効果を検証してきた<sup>11)</sup>。

本報では、アルミニウム合金製曲げフレームを製作し、ガソリン燃料とエタノール燃料に対応できるエンジンを搭載したレーシングカートを製作した。これを教材として適用し、ものづくり教育やエネルギー教育への応用とその利用方法、教育プログラムなどの検討を行った。

## 2 フレームの製作

### 2-1 フレームの設計

レーシングカートのフレームは、軽量化を目的にアルミニウム合金A6063S-T5、 $30\times 30\times 3\text{mm}$ の角管を適用した。図1のように市販されている鋼管フレーム寸法を参考とし、図2のようなフレームを設計した。一般の円管に比べ、角管は平面を持つので、溶接際の付合わせやエンジンなどの組付けが容易で設計がしやすい。この鋼管フレームの重量は169N、アルミニウム合金フレームは94.6Nとなっており、フレーム部の重量でおよそ44%軽減できた。以降で述べるがバイオエタノール燃料はガソリンに比べ発熱量は低いため、理論上燃費は悪くなる。したがって、レーシングカートの重量を軽くすることは省エネルギーの観点からいえば必須であり、 $\text{CO}_2$ の削減にもつながる。

汎用ソフトSolidWorks2010により本フレームをモデル化した。静的強度計算結果を図3に示す。フレームにかかる荷重を1000N、拘束部をタイヤが取り付けられる箇所4点、耐力を基準強さとした場合、その安全率Sは最小でおよそ9、最大で92となった。



図1 市販されている鋼管フレーム (円管)

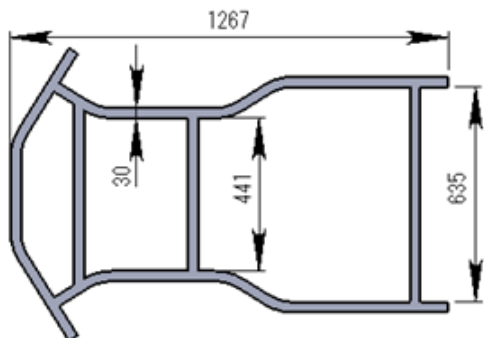


図2 設計したアルミニウム合金フレーム (角管)

### 2-2 曲げ加工

図4に示すように、フレームのR部8か所はプレス曲げにて加工した。加工装置は100kNのオートグラフを用いた。予備実験にて、スプリングバックを考慮したパンチの押し込み量と曲げ角度の関係をあらかじめ調査し、所望の曲げ角度に加工した。また、角管の曲げ加工では角管のへん平化やしわなどの不良現象が発生するので、角管内に塩化ビニール製の積層心材<sup>1)2)</sup>を挿入し、曲げ加工を行った。その結果、これら不良現象を抑制したフレームを加工することができた。図5は6本の角管にL型プレートを用いて、ボルトによって結合したフレームである。

### 2-3 溶接

アルミニウム合金は鋼に比べ融点が低いため、溶接

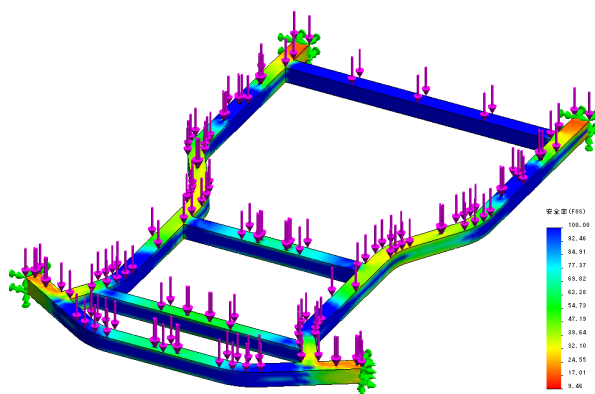
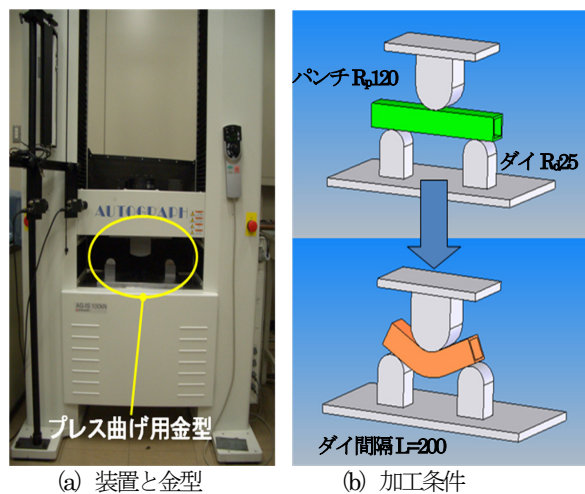


図3 静的強度計算結果



(a) 装置と金型

(b) 加工条件

図4 プレス曲げ

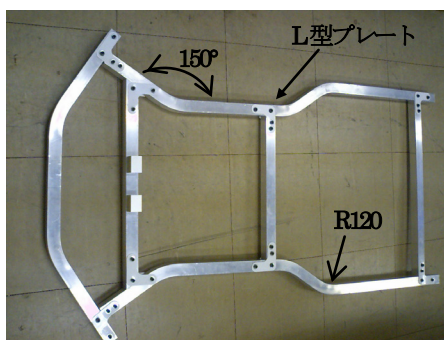
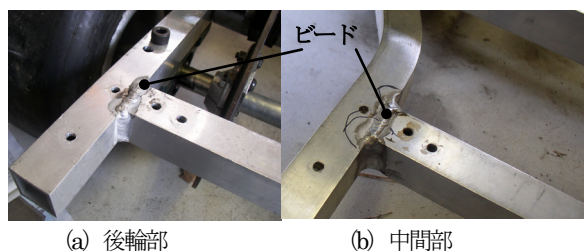


図5 ボルト締結した曲げフレーム

は難しい。一般的な溶接にはガスやアーク溶接が用いられるが、ここではTIG溶接とした。溶接による変形やねじれを抑制するために、先で示した図5のようにL型プレートを付けて溶接した。図6に示すようにビードがきれいに形成されていることがわかる。



(a) 後輪部 (b) 中間部

図6 溶接ビード (アルミニウム合金)

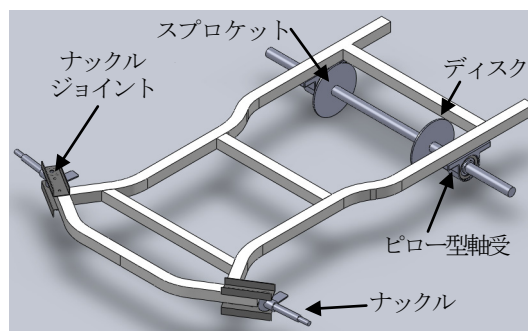
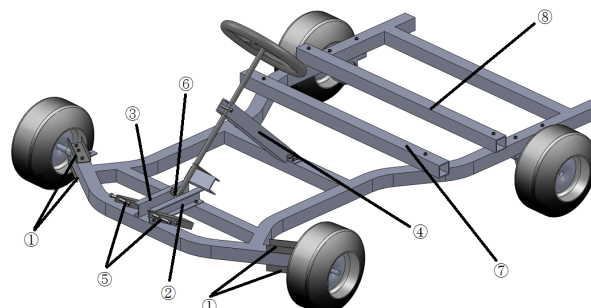


図7 前後輪の組付け

### 3. レーシングカートの製作

図7に示すように、後輪部にはシャフトをピロー型軸受で固定し、スプロケットおよびブレーキディスクを取り付けた。前輪は既製品のナックルおよび自作のナックルジョイントで固定した。図8に各部位を示す。

図9は完成したレーシングカートである。ハンドルはタイロッドによって回転できる。左にブレーキペダル、右にアクセルペダルを取付けた。エンジンはSUBARU製EX21で、排気量は211ccとなっている。クラッチは遠心クラッチで、エンジン回転数2000rpm付近でつながり最高出力は5.1KW(7.0PS)である。ギヤ比は3.95、最高速度は4000rpmとすれば理論上55km/h、エンジン仕様<sup>13)</sup>を表1にまとめる。燃料はガソリン(E0)以外に高濃度エタノール(E100)で走行することが可能である。図10は実際に無水エタノール99.6%で走行試験を行った写真で、エンジン始動・直進・カーブなど、特に問題なく走行可能であった。



①前輪固定部②ハンドル固定(左)③ハンドル固定(右)④ハンドル支え  
⑤ペダル⑥ハンドル固定部⑦座席部(前)⑧座席部(後)

図8 レーシングカートの部位

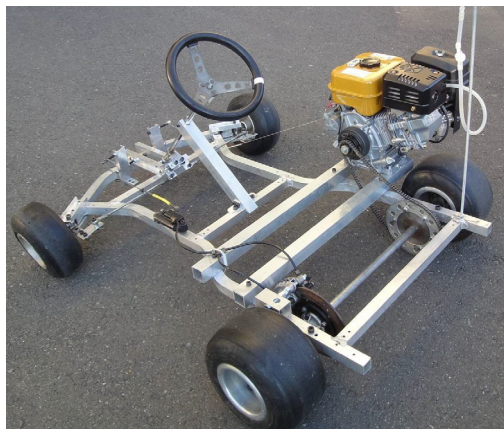


図9 製作したレーシングカート

### 4. エタノール燃料対応型の内燃機関

本件では新エネルギーとしてバイオマス燃料で走行できる内燃機関を扱った。エタノールは合成エタノール



表1 エンジン仕様と諸元

名称	EX21D
形式	空冷4サイクル傾斜形単気筒 OHC式
工程 mm	67×60
排気量 CC	211
圧縮比	8.5 : 1
最大出力 kW/rpm	5.1/4000
最大トルク Nm/rpm	13.9/2500
気化器	フロート式
燃料タンク容量 L、潤滑油 L	3.6、0.6
点火方式、プラグ	無接点マグネット点火、 HGK/BR-6HS
寸法 mm、乾燥質量 kg	311×366×335、16



図10 走行試験

ルおよびバイオエタノールに分類され、前者は化石燃料由来すなわち石油である。後者はトウモロコシやサトウキビなど糖・でんぷん系エタノール燃料である。近年では、食料問題がクローズアップされ、食料とならない木質や稲わらなどセルロース系からなるバイオエタノール<sup>14)</sup> やパームヤシなどによるバイオディーゼル燃料<sup>15)</sup> の開発もすすめられている。バイオ燃料はカーボンニュートラルの観点からクリーンエネルギーとして従来から注目されていたが、食料問題以外に、植物を育成するときに大量の燃料を必要とするので、CO<sub>2</sub>削減とはならないのではないかと最近では賛否両論がある<sup>16)</sup>。しかしながら、日本の農林業振興による地域の活性化、石油燃料依存や日本のエネルギー自給率4%の状態から脱却し、再生可能エネルギーとしてエネルギー問題を取り上げる内容として、燃料としてのエタノールは重要であると考えられる。

また、運輸部門ではバイオマス由来燃料以外に、ハ

イブリット自動車はもちろんのこと、天然ガス自動車、電気自動車、燃料電池自動車、水素エンジン自動車と燃料が多様化され、新エネルギーの開発と導入が加速している。さらに、従来型のガソリンエンジンやディーゼルエンジンをさらに高効率化したエンジンの開発も進んでいる<sup>17)</sup>。したがって、当分の間は内燃機関も存在するので、ものづくりや環境問題などの教材として重要なものとする。

電子制御により燃料と空気量を調整するのがインジェクションで、ベンチュリやオリフィスを利用し燃料と空気の混合気を噴射するがキャブレターである。ここでは、表2のようなガソリンとエタノールの性質を理解させるために、また、エンジンパーツの分解・組立および加工などを実習にて体験させるために、キャブレター方式のエンジンを採用した。エタノールの特徴は表2からわかるように、発熱量が低いので、ガソリンに比べおよそ1.7倍燃費が悪くなる。また、引火点が高いため、氷点下ではエンジンがかかりにくくなる。一方、エタノールの製造工程の1つである蒸留について学習するならば、沸点がわかれば簡単にエタノールを蒸留することが可能であることもわかる。

エタノールの空燃比を調整するために、キャブレター内にあるパイロットおよびメインジェットの穴をドリルによって再加工する。パイロットジェットはエンジンのアイドル時のから低速走行時の燃料供給ノズルで、メインジェットは中速から高速走行時の燃料供給ノズルである。そこで、各燃料の発熱量や理想空燃比からジェットの穴径を割出す計算をする。ジェッ

表2 エタノールの性質

燃料	エタノール	ガソリン
分子式	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
比重	0.79	0.7
理想空燃比 (空気 kg/燃料 kg)	9	15
発熱量 (kcal/kg)	6400	10800
オクタン価	106	100
発火点 (°C)	420	275
引火点 (°C)	14	-43
沸点 (°C)	78.3	99.4

トの穴径は1mm以下と大変小さな値で、一般にはこの穴径が公開されていないので、実際の寸法を測定する必要がある。ノギスやマイクロメータでは測定できない。したがって、高額測定器を使用することとなるが、読取顕微鏡や投影機などで測定しなければならない。本件では表3のようにジェット穴径を変更した。この他に、エタノールは溶剤としても適用されるので、材質の選定に注意が必要である。したがって、燃料系ゴムホースやガソリンタンクは、それぞれシリコンホースとフッ素樹脂容器に変更した。

ここで適用する実験用の燃料として、一般的に販売されているレギュラーガソリンやバイオガソリン(ガソリン+ETBE)、エタノールとして99.6%無水エタノールや96%スピリタス(お酒:蒸留限界で世界最高のアルコール濃度)を適用した。日本では、2003年の揮発油等品確法の改正により3%以下のアルコール燃料の混合が認められるようになった。2007年にはガソリンの販売所で輸入のバイオガソリンが販売され、アメリカではインディ500の自動車レース用燃料として100%のエタノール燃料を適用した。2009年には試験的に国産のバイオガソリンが販売されるようになってきた。今後、2020年ごろまでにE10を(ガソリン90%、バイオエタノール10%の直接混合)導入する方針が示されている<sup>18)</sup>。しかしながら、アジアの中国・インド・タイなどはE10がすでに普及しているので、日本の新エネルギー戦略として、バイオエタノール燃料の導入については、消極さを感じざるを得ない。

## 5. 教育プログラムと教材

埼玉大学教育学部技術教育講座の2年生必修授業「機械技術の基礎(実習)」では、表4のような内容とした。これまでの2年間に受講した学生26名は、講義を受けたことによって環境やエネルギー問題に興味を持つことができた。Yes or Noの問いに対して、100%Yesの回答を得た。しかしながら、分解・組立・実験などの授業時間を多く設ければ環境問題やバイオエタノールに関する知識の定着がし難い<sup>11)</sup>ということもわかった。また、「講義資料には満足できた。Yes or No」の問いに対し

表3 キャブレターの調整

燃料	エタノール	ガソリン
パイロットジェット	φ1.0mm	φ0.8mm
メインジェット	φ0.5mm	φ0.4mm
スクリュー	ノーマルから右4回転	—

表4 授業内容(H21年度実施)

90分	授業内容	方式、教材など
1回	レーシングカート走行の見学	体験/カート、エンジン、エタノール
	ガソリンとエタノールによる排気ガスの臭気確認	
	温室効果ガスとバイオエタノール、日本と世界	講義/パワーポイント、課題
2回	工具の使い方とエンジンの分解・組立、アイドル確認	実習/マニュアル、エンジン、工具
3回	キャブレターの仕組みとエタノール仕様への変更	実習/マニュアル、エンジン、精密ドリル、工具、ドリルホルダ
	ジェットの修正と組付け	
4回	排気ガス測定について	実習と実験/エンジン、工具、ガス検知器、時計
	ガソリンとエタノールによる排気ガス測定	
	アンケート	
宿題	レポート	実習内容のまとめと課題

ては、2名およそ8%、Noの回答があった。

そこで、バイオエタノール対応型エンジンの変更に  
関する教材以外に、エネルギーについて学ぶことができる以下のような補助教材を製作した。

### 5-1 エネルギー教育のための補助教材

表4に示したマニュアル「内燃エンジンの仕組みとバイオエタノール仕様への変更に関する教材」の内容は、以下の通りである。

#### ①エンジンの仕組み(計3ページ)

- ・内燃エンジンの仕組み
- ・エンジンの種類
- ・ロビンエンジンについて
- ・ガソリンエンジンをバイオエタノール仕様にするには?

#### ②エンジンの組立・分解方法(計6ページ)

- ・ロビンエンジンの各部分名称と機能

- ・使用する工具と使い方
- ・ロビンエンジンの分解
- ・ロビンエンジンの組み立て

③バイオエタノール仕様への変更 (計6ページ)

- ・バイオエタノールと化石燃料について
- ・バイオエタノール仕様への加工・部品変更
- ・エンジンの始動と排気ガスの測定

④エネルギー問題と地球温暖化 (計3ページ)

- ・地球温暖化の現状
- ・エネルギー問題の現状
- ・わたしたちにできること

これら教材を用い、授業を行った後の学生のアンケート結果の一例を図11に示す。機械や工具については授業の効果がみられた<sup>11)</sup>。一方、エネルギー問題や環境問題、新エネルギーについて興味関心は高いが、それぞれについて自由記述させると、その回答率は激減し、知識の定着がなされていないことがわかった。環境問題とエネルギー問題が区別できていないため、特に、新エネルギーに関しては回答率が低い。そこで、エネルギー教育のための補助教材として、図12のような資料を作成した。表紙とはしがき、内容を合わせて計14ページとなっている。

これまでの研究<sup>19)</sup>では、エネルギー教育関連の教材は現状では不足しているため、カリキュラム化や教員の研修や外部との連携が必要であるとしている。また、外部の教育支援団体との連携も重要であるとしている。今後、エネルギー教育関連の教材を多く開発し、教員が参照できるデータベースの構築が必須となってくる。

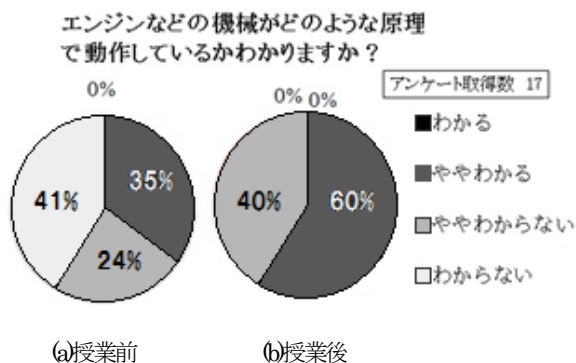


図11 アンケート結果 (エンジンの原理について)

5-2 組立基準書

レーシングカートの構造は自動車に比べ簡単で、自動車同様にフレーム (シャシ)、操舵・足まわり、駆動系、エンジンと少ない部品点数で構成されている。そして、エンジン部にあるイグニッションコイルやセルなど以外には電装部品はないので、実際の部品を使って、初歩的な自動車のメカニズムを理解させることができる教材である。また、部品点数が少ないことから、分解・組立てにかかる時間も短縮でき、授業で必要になる時間数も削減できる。

一方、企業で機械を設計生産する場合、部品設計や工程設計などが行われ、図面により部品の製造が管理されている。この他に、部品の品質の維持や効率的かつ安全に部品を製造するためには、設計基準書や検査基準書などの技術基準書 (企業によっては技術標準書ともいう) がベースとなり、製造作業を進めていくのが一般的である。

**目次**

1 エネルギー教育について

1-1 エネルギー教育とは

2 エネルギー問題と現状

2-1 石油

2-2 枯渇エネルギー (ガソリン以外)

3 新エネルギー

3-1 バイオエタノール

3-2 太陽光発電

3-3 太陽熱利用

3-4 風力発電

3-5 雪氷熱利用

3-6 地熱発電

1-2 エネルギー教育とは

エネルギー教育では、一方的な知識を押し付けるのではなく環境問題等、エネルギーを取り巻く様々な状況や課題に関する正確な知識を身につけることは不可欠である。そして、「持続可能な社会の構築をめざし、エネルギー・環境問題の解決に向けて適切に判断できる人間の育成」ことを目標とした教育である。

図1 エネルギー教育を取り巻く状況 (出典) エネルギー教育ガイドライン

【学校教育におけるエネルギー教育の目標】  
持続可能な社会の構築をめざし、エネルギー・環境教育にかかわる諸活動を通して理解を深めると共に課題意識を醸成し、その解決に向けて適切に判断し行動できるし資質・能力を養う。

【小学校における目標】  
身近な生活を振り返り、省エネルギー、省資源に結びつた諸活動を通して必要となるエネルギー・資源問題の背景や、必要に応じてその意味や意義を積極的に考え理解する。

【中学校における目標】  
身近な生活から持続可能な社会について考察、理解し、エネルギー・資源問題の背景や、必要に応じてその意味や意義を積極的に考え理解する。

【高校学校における目標】  
広い視野から持続可能な社会について考察、理解し、エネルギー・資源問題の背景や、必要に応じてその意味や意義を積極的に考え理解する。

(エネルギー教育で育てる力を6つの観点から示す)

関心・意欲・態度	知識・理解	思考・判断・表現	技能	行動	持続力
----------	-------	----------	----	----	-----

3-2 太陽光発電

太陽光発電の導入

太陽光 → 太陽電池 → 電力会社

電力会社 → 買取収入 (従来の2倍程度の価格)

太陽電池 → 余剰となる電気

図12 補助教材 (エネルギー教育と太陽光発電)

図12 補助教材 (エネルギー教育と太陽光発電)

そこで本件では、図13に示すように、ものづくりの重要性を学ぶ教材として、エタノール対応型レーシングカートの組立基準書を制作した。空欄の基準書から自ら分解又は組み立て手順を考え記入し、使用した工具や注意事項も記載させることができる。

実社会で適用されている手法により、品質や機能を保ち、効率的な組み立て方法、また、安全性も考慮に入れたものづくりを体験学習することができる。

## 6. 結 言

ものづくりやエネルギー教育のための教材として、高濃度エタノールで走るレーシングカートを製作した結果を以下にまとめる。

- (1)アルミニウム合金製フレームによるレーシングカートを製作した。発熱量換算では、エタノールはガソリンに比べ燃費が1.7倍悪くなるので、既存の鋼フレームに比べ軽金属を使ったことにより、44%軽量化することができた。
- (2)高濃度エタノールでも走るようエンジンを変更するためのマニュアルを教材として作成した。基本的には教員養成大学の学生（指導者）向けに作成した。また、ここでは工具の使い方や環境問題、バイオエタノールについて解説を付加した。
- (3)アンケート結果では、分解・組立や実験時間を増やせば、知識の定着がされにくくなることがわかった。環境教育とエネルギー教育の違いが明確にならず、特に、エネルギーに関する知識が定着されなかった。したがって、これを補うふりかえり教材として、エネルギー教育用資料を作成した。
- (4)ものづくり教育のため、企業で実際に適用されている組立基準書を教員養成大学の学生の教材（指導者）向けに作成した。

## 謝 辞

本研究の一部は、広島国際学院大学の平成18年度特別研究費によって支弁された。レーシングカートのフレームの製作に携わった広島国際学院大学工学部機械工学科の学生諸君に謝意を表す。

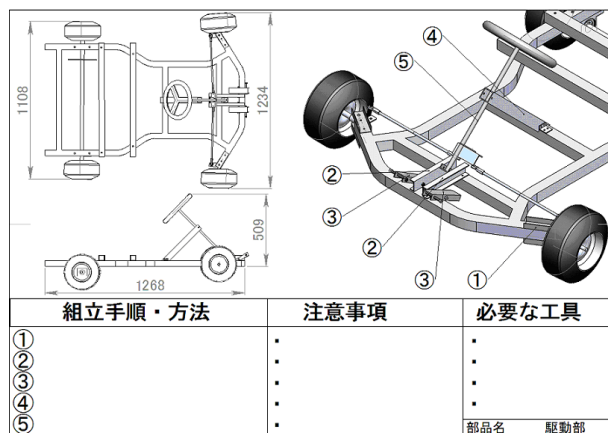


図13 組立基準書

## 参考文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編、(2008.6)、34-38.
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編、(2008.7)、34.
- 3) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編、(2009.7)、39.
- 4) 財団法人社会経済生産性本部エネルギー環境教育情報センター：平成20年度小中学校におけるエネルギー・環境の取扱いに関するアンケート調査報告書、(2009.3)、5-7.
- 5) 東之弘：エネルギー教育地域拠点大学の取り組み、*Journal of the Japan Institute of Energy*、88、(2009)、15-21.
- 6) 鳥居修一・山本光治・今村康博・大嶋康敬・有吉剛治・田中茂：グループ型ものづくりによる導入教育プログラム、*日本工学教育協会工学・工業教育研究講演会講演論文集*、(2010)、178-179.
- 7) 滋賀県立大学工学部エネルギーと動力研究室：バイオディーゼル燃料のエンジンシステム適合性と利用に関する教育・研究、調査年月2010.4、<http://www.mech.usp.ac.jp/~prw/subjects.html>.
- 8) 大阪教育大学技術教育講座機械研究室：接着構造によるカート、調査年月2010.4、[http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~gjutsu/daikyogijutsu/ji\\_xie.html](http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~gjutsu/daikyogijutsu/ji_xie.html).
- 9) 全日本学生フォーミュラ委員会委員・加藤幹夫：実

- 践的なものづくり能力の向上—全日本フォーミュラ大会、平成20年度工学教育連合講演会資料、調査年月2010.4、[http://www.soc.nii.ac.jp/jsee/news\\_main/pdf/h20\\_haifu\\_shiryuu/8-katohp.pdf](http://www.soc.nii.ac.jp/jsee/news_main/pdf/h20_haifu_shiryuu/8-katohp.pdf).
- 10) 内海能亜・中村格芳・渡邊真彦：エタノール対応型の自動二輪車に関する研究、埼玉大学紀要教育学部、59-1、(2010)、43-50.
  - 11) 高信徹寛・内海能亜・稲田雄二：バイオエタノールを利活用した内燃機関の教材開発、日本工学教育協会工学・工業教育研究講演会講演論文集、(2010)、374-375.
  - 12) 内海能亜・吉田昌史・坂木修次：アルミニウム合金押出形材の曲げ加工に関する研究—均等曲げによるスプリングバックについて—、埼玉大学紀要教育学部、60-1、(2011)、119-124.
  - 13) 富士重工業株式会社：EX13EX17EX21EX27空冷4サイクルガソリンエンジンサービスマニュアル、1.
  - 14) 蓮池宏：運輸部門の燃料多様化に資する技術の技術戦略、Journal of the Japan Institute of Energy、87、(2008)、18-24 .
  - 15) 合田真：拡大するバイオディーゼルマーケットにおける現状と課題と弊社の取り組み—みどり油田の作り方—、Bio Fuel World ビジネステクニカルセミナー予稿集、(2007)、163-195.
  - 16) 小木知子：平成21年における重要なエネルギー関係事項、Journal of the Japan Institute of Energy、89-8、(2010)、799 .
  - 17) 玉野昭夫：自動車の燃費改善技術の動向について、Journal of the Japan Institute of Energy、87、(2008)、493-498.
  - 18) 矢野伸一・美濃輪智朗：アジアにおける自動車用バイオ燃料の現状と展望、Journal of the Japan Institute of Energy、86、(2007)、18-24.
  - 19) 藤本登・高倉健太郎・中村重太・有川誠・平尾健二・遠藤秀治：福岡県におけるエネルギー環境教育に関する実態調査—学校と学外教育支援団体連携について—、福岡教育大学紀要、54-4、(2005)、283-292.
- (2011年4月28日提出)  
(2011年5月20日受理)