

ソーラーカーの製作

～大潟村1996WSR 参加について～

山崎 保輔・杉 沢 久雄・伊 藤 勝 吾
高橋 洋輔・細 川 純

A Solar Car Set up

Yasusuke YAMAZAKI, Hisao SUGISAWA, Shogo ITO
Yosuke TAKAHASHI and Jun HOSOKAWA

(1996年11月29日受理)

On two successive years our team has entered again for a solar car race '96 WSR in Ogata Village. Our car named E-II Impulse had run at a mean speed of 30 km/h without noticeable trouble during the race. E-II Impulse was obliged to increase the front projection area and air pressure drag due to the race regulations, driver's eye sight, assembling circumstances and so forth. Cd has been settled between 0.6~0.7 through the simple computation mentioned below. μ_f was obtained as 1/100 from the actual pulling force on a plain pavement.

1. はじめに

昨年に引き続き、秋田県大潟村でのワールドソーラーカーレース出場のため、平成8年度機械工学科卒業研究生を中心に車の設計、制作を手掛け、完成後レースに参加、並行して走行状態、性能、完成度等の把握に努めた。最初製作場所の狹隘により分離製作可能な引き型（けん引車とパネル車）を想定したが空気圧力抵抗の中、車体の凹凸等による干渉抵抗の増大が危惧されるため、結局は一体型に決定した。

2. 設計内容

a) 車体形状について

空気の圧力抵抗低減はソーラーカー製作に於いては最大の課題であり、合成樹脂 (FRP) を用いることで対処するチームが多い。この方法は費用、製作場所、技術等の面で本研究室に於いては不可能である。種々の事情を考慮し製作可能の範囲で車体形状を考えた結果図1に示すものとなった。表2に示す太陽パネル24枚を車体上部に設置、その投影面積が8平方メートル以下 (大会規定) に収まるように湾曲させることで対処した。次に運転者の視界確保の

ため図1～の部分に透明なポリカーボネート板を取り付け安全走行可能な配慮をしたが前投影面積増加を余儀なくされた。ボディは全体的にボート型とし基本的に流線形に近づける形状を想定したが、製作に於いて可能かどうか不安が残された。車両寸法は表1に示す。

b) フロントサスペンションについて

昨年の経験から本年はフロントホイール支持部にサスペンションを組み込む事にした。サスペンションの目的は、第一にフレームの変形の原因となる衝撃や、ボルトの緩みなどの原因となる振動を吸収するためである。フレーム材の変形・亀裂、ボルト・ナットの脱落は、安定した走行を妨げるだけでなく、事故原因にもなりかねないので、これらを未然に防ぐためにもサスペンションの採用は必要だと思われる。第二の目的はドライバーの疲労低減である。コースはアスファルト舗装された平坦路ではあるが、実際に走行してみるとかなり凹凸が気になるということと、ドライバー一人平均約180 km・6時間 (全走行距離約720 km/ドライバー4人=約720 km, 全走行時間約25時間/4=約6時間) という長丁場であるため、不必要な振動は疲労の原因となるためである。第三にはタイヤの安定したグリップによる安定したコーナーリングが挙げられるが、今回の大会で

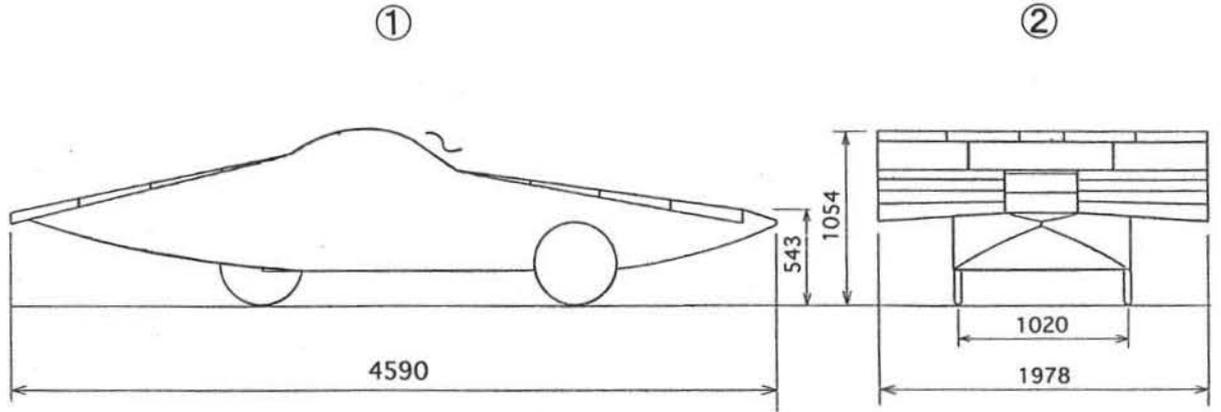
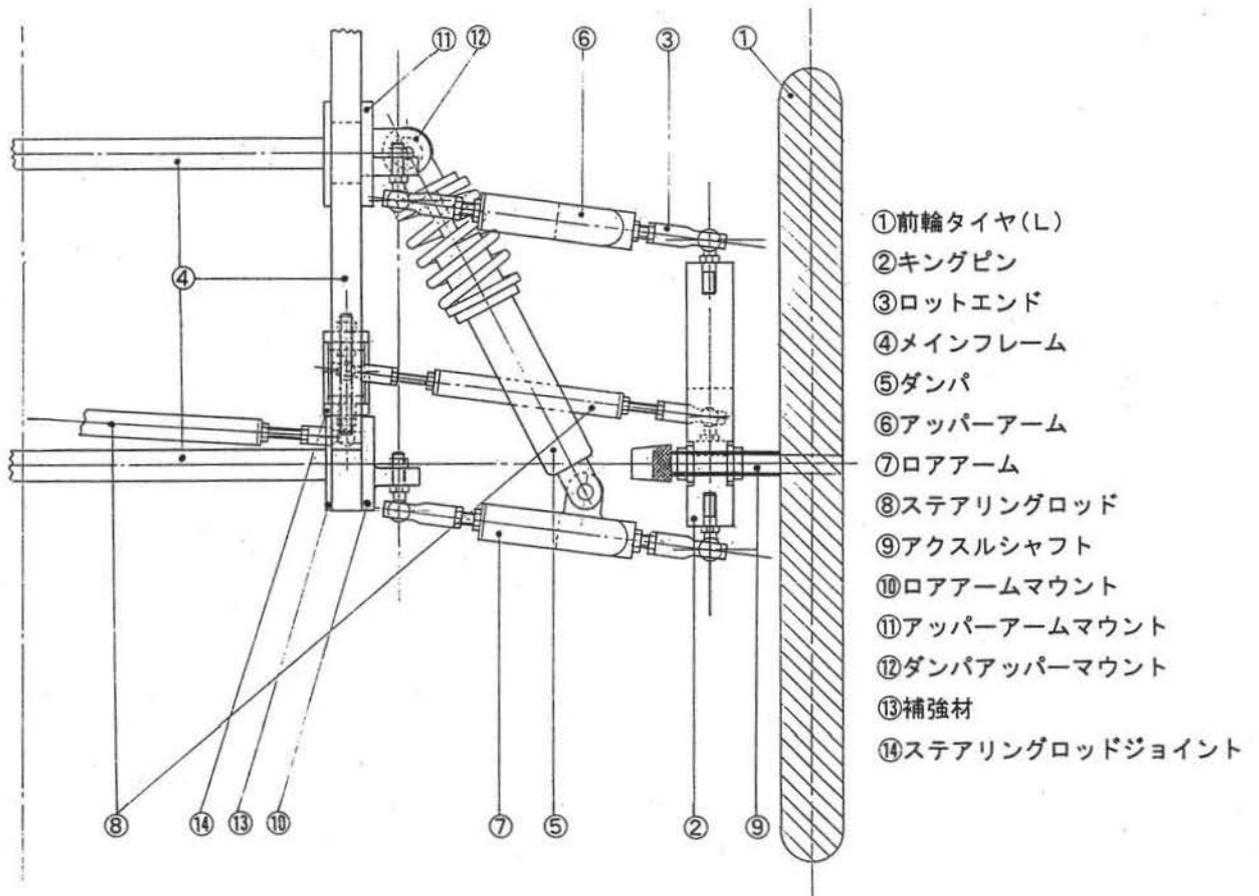


図1 車体形状と主な寸法

はほとんどが直線であるためにあまりメリットにはならなかった。昨年は前部フレームの変形で、フロントタイヤの極端な摩耗が見られたのでタイヤの異常摩耗を防ぐためにも有効である。

今回採用したサスペンションはダブル・ウィッシュボーン（V字型アーム）方式で、この方式にした最大の理由は、製作が比較的簡単であり結果的に仕上がりの精度が上がると見込んだからである。又、

昨年のフレームに取り付ける事を前提としたため、取り付け時この方式が比較的容易と思われたからでもある。設計の際10分の1スケールのラジオコントロールカーのサスペンションをモデルとして、ダンパーの動き、アームの動き、取り付け方法などを参考にした。この方式の走行上の長所は、上下サスアーム・キングピン・フレームの関係が平行四辺形である（今回はそのようにした）ためにキャンバ・キ



- ①前輪タイヤ(L)
- ②キングピン
- ③ロットエンド
- ④メインフレーム
- ⑤ダンパ
- ⑥アッパーアーム
- ⑦ロアアーム
- ⑧ステアリングロッド
- ⑨アクスルシャフト
- ⑩ロアアームマウント
- ⑪アッパーアームマウント
- ⑫ダンパアッパーマウント
- ⑬補強材
- ⑭ステアリングロッドジョイント

図2 フロントサスペンション&ステアリング機構（一部）

ソーラーカーの製作

ヤスタの変化がほとんど無いということと、アームの長さを変えることによりキャンパの調整が可能な事である。又、平行四辺形であるがゆえの短所はサスペンションがストロークするとトレッドが変化してしまう事で、これを防ぐためにはアームの長さを長くするかもしくはロアアームをアッパーアームよりも長くしてキャンパの変化を多くし、トレッドの変化を減らすというのが考えられる。

c) ステアリングシステムについて

今回のステアリングシステム(かじ取り装置)は、昨年ものをほぼ流用し、サスペンションの取り付けに合わせて改良を加える事にした。設計にあたって一番の問題点はサスペンションを採用したことにより昨年のように片側一本のステアリングロッドではサスペンションがストロークしたときに進行方向に向かってタイヤの方向がその都度変わってしまうことである。これを解決するために、ロッドを二本に分け一本をハンドルから、そしてもう一本はササアームと長さ・角度を等しくしてアームと並行に動くようにし、その二本をジョイントを介してつなぐことでストローク時のタイヤのブレをできるだけ少なくすることができた。

d) 電気系統について

表1 車両仕様書1

車両寸法 Vehicle dimensions	全長	4600mm	
	全幅	1981mm	
	全高	1050mm	
	軸間距離	1850mm	
	車輪間隔	前: 1020mm	後: 0mm
	重量(ドライバー無し)	175kg	
車体・構造 Equipment and construction	フレーム(材質・規格)	溶接トラス構造(JIS A 6063 7#~9#)	
	ボディ材料	硬質塩ビフォーム	
	サスペンション	前: ダブルウィッシュボーン	後: 無
	ステアリング	平行両振り腕応用機構	
	ホイール	数量: 3	材質: 20 inch 構造: X*~9
	タイヤ	材質: 20x1.75	メーカー: Funfancy
		材質: 79-254	材質: スリック
	ブレーキ	前: 無	後1: 4*16~ 後2: 7*12
	回生ブレーキ	無	
	駆動装置・伝動装置	直流ブラシ付モータ・チェーン伝動	
車両性能 (推定) Predicted vehicle performance	ソーラーカーによる最高速度	約 40km/h	
	風力による最高速度	約 60km/h	
	空気抵抗係数	0.638	
	転がり抵抗係数	1/100	
	前面投影面積	1.43m ²	
	推定平均速度	30.5km/h (719km/25h)	
	推定製作費用	300万円	

前輪タイヤ

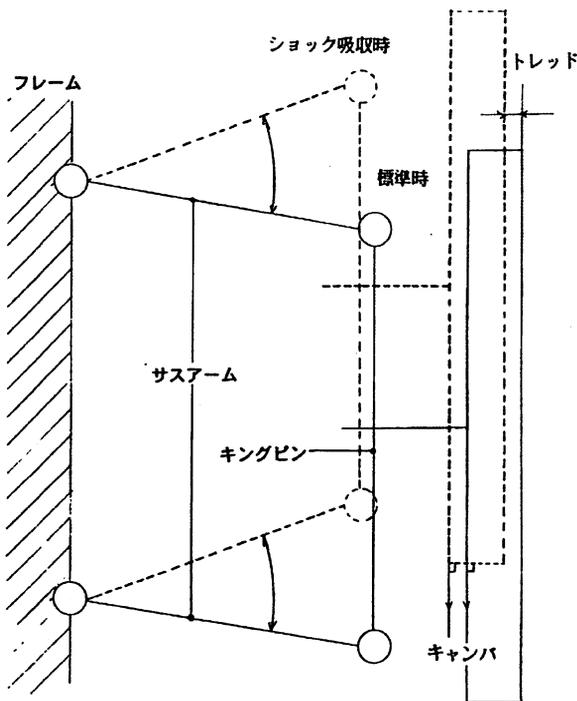


図3 前輪支持機構とその運動

平成9年2月

表2 車両仕様書2

MPPT	形式	SRS-PT06A
	制御方式	FETチョップ降圧型
ソーラーレイ	原理	パワートラッキング方式
	数: メーカー	1個: 京セラ株式会社
	メーカー	昭和シェル石油株式会社
	型式	FL136-SP-93
	セルのタイプ	単結晶シリコン
	セルの変換効率	13.5%
	セルのサイズ	80mmx100mm
	セルの重量	0.006kg
	表面保護方式	フィルム密閉式
	セルの数量(1パネル)	54枚
	セルの配列	9枚x6枚(長方形)
	パネルの電圧(開放)	17.8V
	パネルのサイズ	774mmx430mmx1mm
	パネルの重量	1枚: 0.377kg
	パネルの枚数	24枚
	パネルの配列	12枚直列2並列
	太陽光収集装置41A	1981mmx4370mm
	作動面積率	83.5%
照度(100m ² /cd, 25℃)	約 1077W	
総電圧	約 210V	
総重量	約 19kg	

表3 車両仕様書3

蓄電池	タイプ・メーカー	松下電池工業株式会社	28A19R
		鉛蓄電池	
	数量	10個	
	総電圧	120V	
	総容量	3.00kWh	
	定格出力	26Ah (20時間率)	
	総重量	7.4kg×10個=74kg	
モータ	タイプ:数量	DCブラシサーボ:1個	
	重量	12.0kg	
	メーカー	安川電機	
	最大出力	3.5kW	
	連続出力	1.3kW	
	設計回転数(電圧・電流)	2200r.p.m.(90.3%・119V・12.1A)	
パワー・エレクトロニクス	最高回転数	2300r.p.m.	
	コントローラタイプ	トランジスタPWM定電圧・電流制御	
	制御方式	FETチョップパ/昇降圧型	
	形式	SRS-MD35B	
	数:メーカー	1個:京セラ株式会社	

ソーラーアレイについて

ソーラーパネルは昭和シェル石油株式会社 FL136-SP-93 (単結晶シリコン) を予定では8枚直列3組で使用するはずであった。このように考えた理由は直列に接続することによる電圧降下防止, MPPT 電圧変換効率低下防止, バッテリー充電電圧に限りなく近いこと, パネルの部分影発生時による発電電圧低下防止が挙げられる。特に最後の発電電圧低下は致命的で本ソーラーアレイの様にバイパス回路を組み込んでいない場合, 手のひら程度の影で約2.5Aの発電電流が0.5A程度まで降下する事態になる。しかしながらMPPTが2チャンネルしか無いため, やむおえず12枚直列2組で使用する事になった。

MPPTについて

MPPTは京セラ株式会社 SRS-PTO6Aを使用。このタイプはパワートラッキング方式で昇圧機能はない。パネルからの入力電圧がバッテリーの充電電圧を下回る事は無いのでこれで十分とおもわれる。変換電圧は短時間での充電を考慮し, 約140Vと設定した。

バッテリーについて

バッテリーは松下電池工業株式会社 28A19Rを10個直列で使用。5個直列2並列という組み合わせでは作動電圧が60Vとなり, モータードライバーの最低入力電圧とイコールになってしまい, また計器類の変換電圧器の作動電圧を下回るという結果にな

る。さらにこの部分でも電圧降下が心配されたがMPPTの変換効率から逆算すると10個直列で使用した方が良いという結果になった。

モーターについて

モーターは安川電機 DCブラシサーボ (連続出力1300W)を使用。このモーターは工作機械用であるが, サイズの割に出力が大きいことや, 耐久性が非常に高いという点が採用する決め手になった。しかしソーラーカー用のモーターとしては12Kgと少々重い所と設計回転数が2200r.p.m.とかなり低い所が欠点である。

モータードライバーについて

モータードライバーは京セラ株式会社 SRS-MD35Bを使用した。このタイプはFETチョップパ/昇降圧型で, バッテリー電圧低下時でも対応できるようになっている。ただし回生機能はなく減速時のエネルギーを発電にまわす事や, ブレーキとしての機能はない。本ソーラーカーは転がり抵抗係数を1/100を目安とし, また回生してもそれほどの電力を得られないと判断しこの装置に決定した。

計器類について

インパネに表示される計器類はソーラーパネル前方電流計, 同後方電流計, バッテリー電流, 電圧計, モータードライバー出力電流計, 入出力積算表示カウンター, 各電流計バイパススイッチ, モーターファンスイッチ, 各機器の警告灯, ウィンカー・ハザード切替スイッチ, スピードメーターがインパネに装備されている。ステアリングにはホーン, ウィンカースイッチがあり, ブレーキランプはキャリパー, ディスクブレーキに別々に連動するよう設計した。ウィンカー, ハザードの点滅回路は作動電流が40mAという省電力を達成した。

3. レース内容

次にレースの際, ドライバーとして運転操作をした本卒業研究生による走行状況について述べることにする。

・レース走行時の状況について

ソーラーカー E-II Impulse は大会前には完成し, 相当度数試験走行を繰り返し, キャンパの調整や太陽パネルの発電電圧からバッテリーへの充電電圧の決定, ダンパの硬さ調整等を行った。レースで実際に走行した際の車体の印象と考察を下記に記す。

第一日目

ソーラーカーの製作

レース用ソーラーカー[E-II Impulse]
電気系全体図

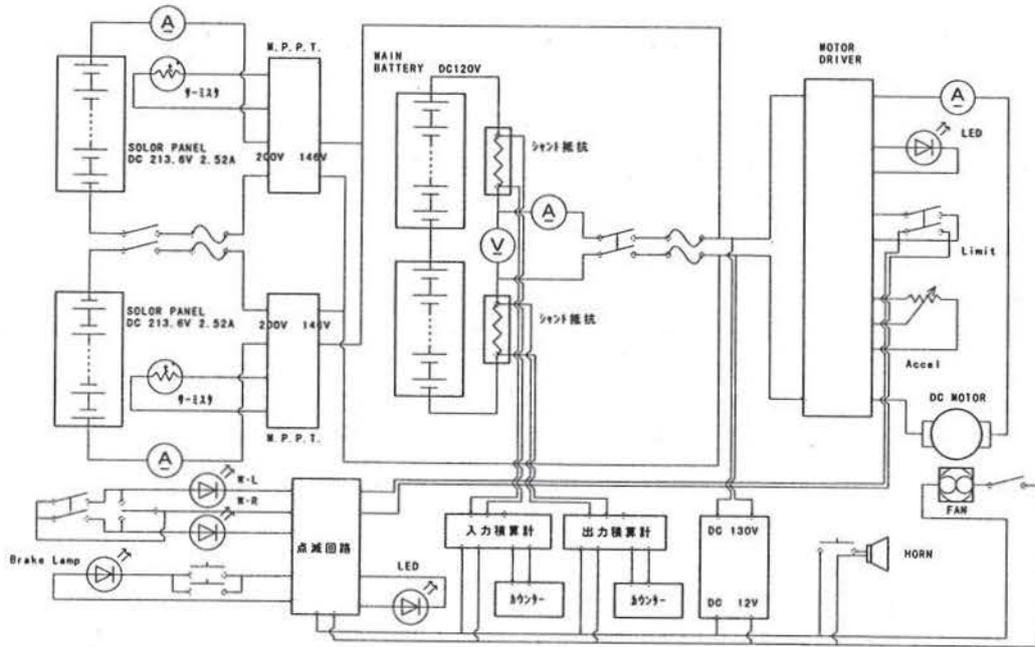


図4 E-II Impulse 電気系全体図

大会前まで車体の完成度は比較的良かったので、走行に関しては、大きな不安はなかった。しかし、1ラップ走行直後、運転者の判断でピットに入り異常を訴えた。その異常とは左カーブを通過する途中に運転者の後方でカタカタという異音が生ずることであった。その時点では原因がわからず、なにも対策を講じないままコースに戻ったが、この異音の原因はチェーンがモーターのマウント部分に接触していると想像された。

ある程度走行し、前で述べたカタカタ音を除けば安定した走りが続いていた。しかし、時間が経つにつれ後方パネル枠が振動によって変形し、前方パネルとの組み合わせ部分がずれてきて、走行途中で、その組み合わせ部分のフックがはずれてしまった。そのため、応急処置として針金で後方パネル枠と車体フレームを固定した。

大会期間中の天候は3日間とも曇りで(昨年の日射量の約65%)西からの風が強く、走行に大きな影響を与えた。往路は追い風でパネルのみで走行できたが復路は向かい風でパネルとバッテリーの両方の電力を用いても速度が思うように上がらなかった。これは天候によるものでもあるが、車体の形状による空気抵抗にも原因があった。1ラップ1時間ほどで、7ラップ218.8kmを7時間10分で走った。

2日目、3日目とも初日とほぼ同じで、電気系のトラブルは全くなく、ホイールアライメントも安定

しておりタイヤがパンクするという事態もおこらなかった。成績結果は参加車両69台中22位、高専出場は6校で鶴岡高専の次であったが、本チームは幸いにもコストパフォーマンス賞を受賞することができた。

4. 空気抵抗係数 Cd の算定

$$P(\text{Watt}) = \mu_r \cdot g \cdot W \cdot V \left(\frac{\text{Nm}}{\text{S}} \right) + \frac{1}{2} \text{Cd} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \left(\frac{\text{Nm}}{\text{S}} \right)$$

- P = 使用電力 (545 watt)
- μ_r = 転がり抵抗係数 = 1/100 (実測値)
- g = 重力加速度 = 9.8 m/s²
- W = 車両質量 = 255 Kg
- V = 30 Km/h = 8.3 m/s
- ρ = 空気密度 = 1.23 Kg/m³
- A = 前投影面積 = 1.5 m²
- Cd = 空気抵抗係数

より、Cd を求めると

$$\text{Cd} = 0.638$$

尚、使用電力 P は鉛蓄電池の保有電力と日射計測による太陽電池発生電力の合計より割出した値である。

5. 結論と考察

秋田県大潟村主催ワールドソーラーカーラリー参加のため、ソーラーカーの設計並びにその製作を主目的とする。念頭にはころがり抵抗係数1/100以下、空気抵抗係数0.5以下としたが主として運転者の視界確保、レギュレーション考慮、製作事情等の結果、前投影面積増加、空気抵抗増加を余儀なくされた。レースでは約25時間走行、平均時速30 kmであったが鉛蓄電池、太陽電池の合計電力を基に推算した空気抵抗係数は0.6~0.7程度である。前部車輪にサスペンションを加える事でタイヤの摩耗は抑えられ、けん引力を基に計算した転がり抵抗係数は1/100とほぼ所定の値であった。

尚、前輪支持部(サスペンション)に関する設計・製作においては参考文献と概略の強度計算から十分に余裕をもたせ、衝撃荷重に耐え得るように材料ならびに寸法を決定した。各々の材料は次のとおりで、アームにはφ25 mm・厚さ3 mmのアルミパイプ(Al-Mg-Si系合金)、ロッドエンドにはM 8・M10の特殊合金Lボール、マウント、キングピンにはアルミ角材(Al-Mg-Si系合金)を使用し、それぞれ本校実習工場などで加工し、特にマウントはマシンングセンタで高い精度で加工した。ダンパには、数種

吟味した結果50 cc用の市販ガスショックを使用することにした。

謝 辞

終りに製作、WSR参加にご協力願った相場、今田、長谷川武司の各教官、杉沢、進藤、機械工学科の各技官の皆様に厚く御礼申し上げます。

走行風景

写真はレース中の走行風景である。

参考文献

- 1) 米田裕彦他 ソーラーカー製作ガイドブック パワー社 1994
- 2) 後藤公司 ソーラーカー 日刊工業新聞社 1992
- 3) 桑野幸徳他 太陽電池活用ガイドブック パワー社 1990
- 4) 尾崎紀男 自動車工学 森北出版 1990
- 5) 山崎 秋田高専研究紀要第30号(1994-11), 41
- 6) 山崎 秋田高専研究紀要第31号(1996-2), 39

