



节能 EV 技术专辑



第 1 辑

电动汽车

〔日〕晶体管技术编辑部 编 EV编辑部 译

冠军和亚军之间的技术差距，究竟在哪？

驾驭 EV 无刷电机

EV 电机的基础知识

使电机具备符合要求的特性

EV 比赛用电机的设计和调试

不同 EV 比赛中的电机选型与调试

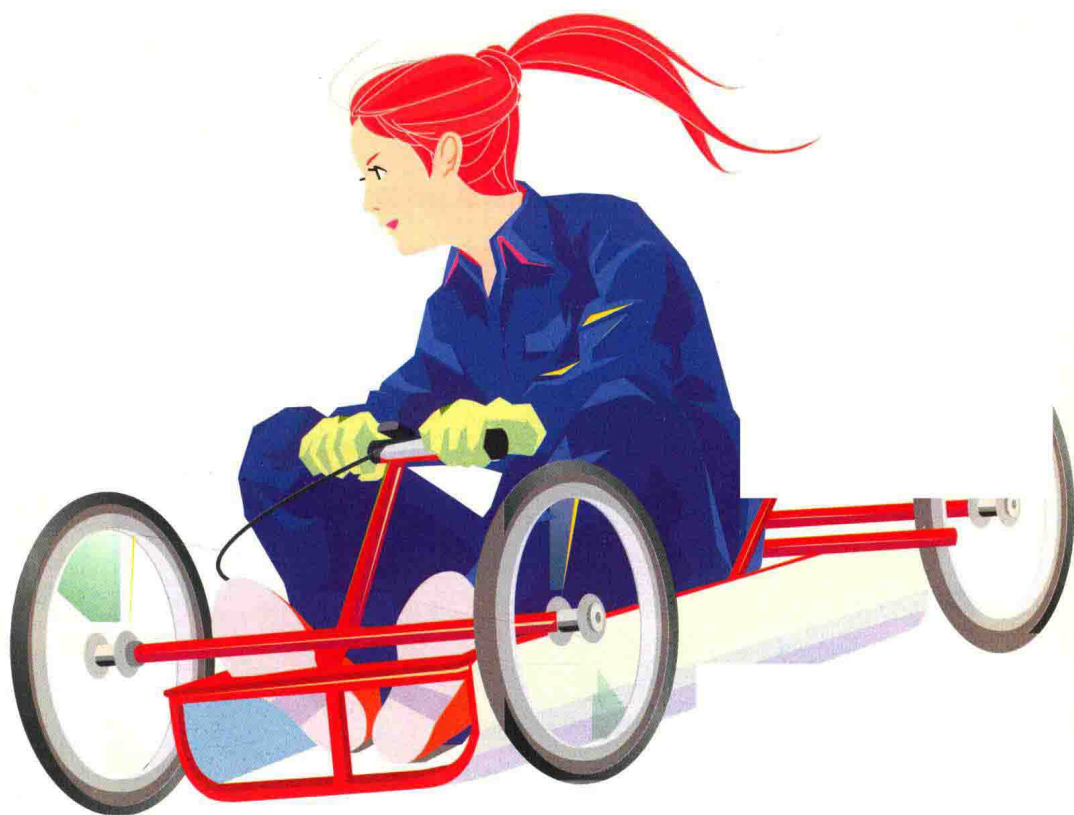


科学出版社

电动汽车

第1
辑

〔日〕晶体管技术编辑部 编
EV编辑部 译



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《电动汽车》技术专辑的第1辑，基于EV比赛目的，讲解电机原理、特性与制作。进而，针对不同的比赛规则和赛道情况，介绍参赛策略和经验，包括电机调试、改良设计、测试工具制作等。另外，还详细报道了典型EV比赛的实况，以及比赛中凸显的技术特点和发展趋势。

本书可用于本科、高职高专院校的电机、电子、汽车相关专业的教学，可用于电动车行业的入职培训，也可作为创客、创新比赛的参考书。

MOTOR エレクトロニクス / MOTOR Electronics No.1
Copyright © 2015/2017 by CQ Publishing all rights reserved.
“MOTOR エレクトロニクス” (MOTOR ELECTRONICS) is Registered
Trademark of CQ publishing (at Japan Patent Office) . Its use in the title of this
book is licensed by a special agreement between CQ Publishing and China Science
Publishing and Media Ltd.

图书在版编目（CIP）数据

电动汽车. 第1辑/(日)晶体管技术编辑部编; EV编辑部译.—北京: 科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-054803-0

I.电… II.①晶… ②E… III.电动汽车—研究 IV.U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第247653号

责任编辑: 喻永光 杨 凯 / 责任制作: 魏 谨
责任印制: 张克忠 / 封面设计: MATHRAX 稚梓

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年1月第一次印刷 印张: 9

字数: 270 000

定价: 48.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

利用太阳能跑完 3000km 的超级太阳能车

“2013 Tokai Challenger”

[日] 石原康 摄影

晶体管技术编辑部 执笔 | 韩伟真 译



只使用太阳能穿越 3000km 澳洲大陆的 “World Solar Challenge” (WSC)，每2年举办一届，2015年是举办年。这里介绍的 “2013 Tokai Challenger” 是东海大学挑战中心为在2013年比赛上夺取三连冠而开发的太阳能赛车(遗憾的是最终只获得了亚军)，是一款集各种各样的先进技术为一体的超高科技赛车。这里通过照片对其中的部分技术进行介绍。



左 面

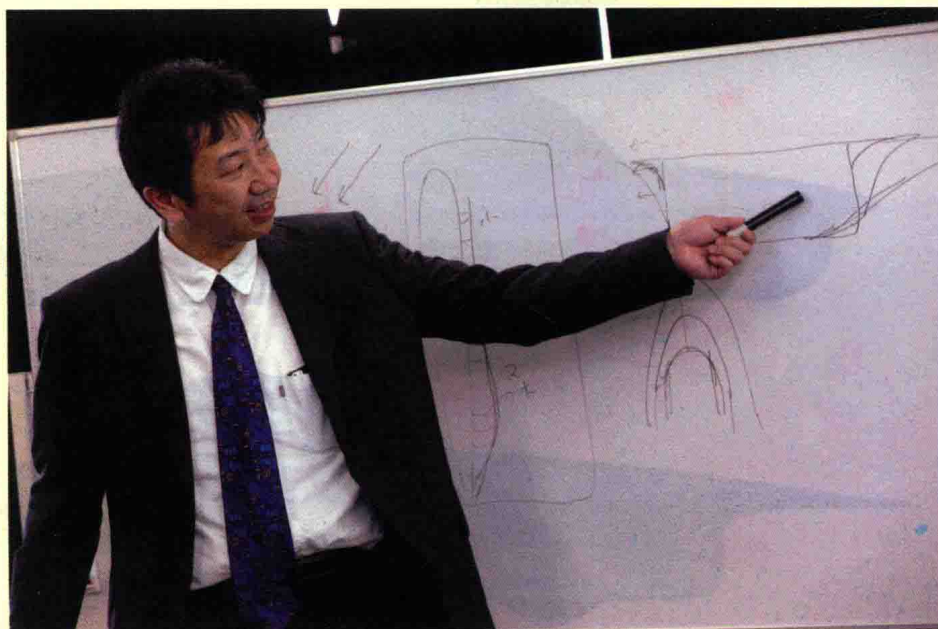
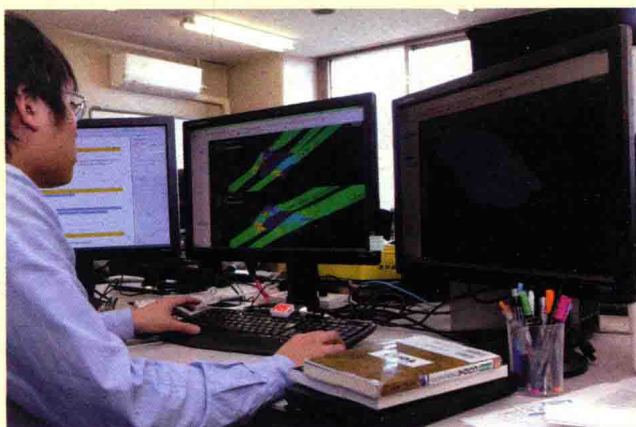


右 面

正 面



比赛用太阳能车的限制为全长4.5m，宽1.8m，太阳能电池板不超过6m²。据木村教授介绍，从2013年开始规定必须使用4轮车，所以座舱设置在哪里成了问题。不单要考虑空气阻力，还要考虑座舱的阴影尽量不要对太阳能电池板产生影响。最终决定把座舱设在左侧。还有，车轮的周边也用与车身成为一体的车轮外罩覆盖。车体外形更是使用热流体分析软件多次仿真，反复修改才定下来的。

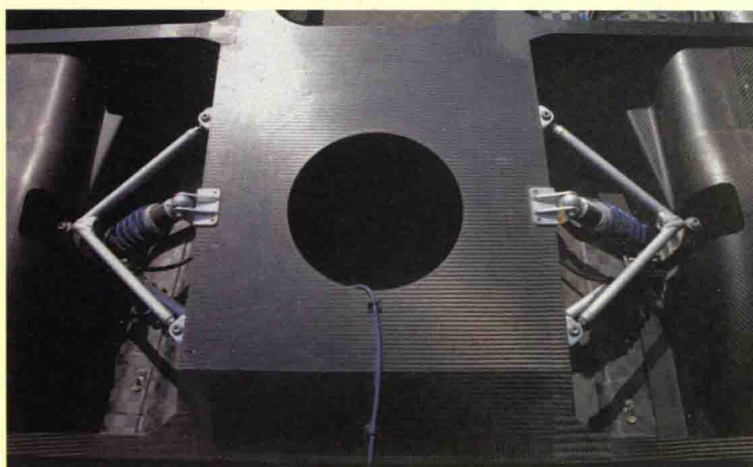


东海大学 木村英树教授



←车体内部

取下铺设太阳能板的顶罩后，露出整齐排列的内部结构。车体材料是东丽公司（Toray）生产的碳纤维“东丽卡”，成形加工是由东丽Carbon Magic公司完成的。根据需要，对不同的部位使用了强度和质量有所不同的T700/ T800/ T300材料。



↑ 前轮悬架

要行驶3000km，车体悬架是必需的。左后轮是唯一的驱动轮，可以看到各种线束。褐色箱子里是松下锂离子电池NCR18650B，按16并27串配置。

左后轮悬架→



←银色导管是为了防止火灾时有毒气体进入座舱而设置的。

↓ 车体内部的前方悄悄地摆放着4个护身符。





↑ 座舱前面板，配置着液晶显示屏和开关等多种部件。



↑ 打开护轮板，即露出轮胎。这里采用的是米其林制造的太阳能车专用16in子午线轮胎。左后轮配置了MITSUBA生产的轮毂型直驱无刷电机。特别准备了特性不同的3种电机，根据赛道的不同进行更换。控制器采用三相PWM控制。



↑ 靠背后面装有车牌“SUN01”，后面还有3根天线。天线不仅用于无线电话，还将车辆的多种信号（速度、油门开度、电机电流和发电电流、电池电流和电压、电池各单元的电压等）发送到控制中心。

↓ 车内仪表与控制装置通过汽车行业使用的CAN（Controller Area Network）总线连接，CAN数据分析与记录采用VECTOR日本公司制造的CANalyzer和GL1000等。





↑ 2011年修改的比赛规则，对转换效率高(价格较贵)的化合物太阳能电池很不利，于是改用硅太阳能电池。这里使用的是与2013年相同的松下公司生产的太阳能模块“HIT”。它采用防反射结构来提高性能，改进了高反射填充剂，转换效率比以前提高0.5%、达到22.5%，而输出功率达到1.35kW。



← 随着光和温度的变化，太阳能电池的电压/电流特性曲线也随之变化。这里采用升压型最大功率点跟踪(MTTP)技术^①，通过改变电压来维持输出功率(电压 × 电流)始终为最大。

↓ 在东海大学挑战中心正门口，摆放着“Tokai Challenger”获得的奖杯。2015年(10月)的比赛会有什么样的赛车登场呢？



① 最大功率点跟踪功能由产总研、小山高专、三岛木电子三者共同开发。



↑ 工学院大学队 “Practice”



↑ 在隐谷赛道预选赛上漂移的 “Tokai Challenger”



↑ 金泽工业大学队 “KIT Golden Eagle 5”



↑ 使用了 RX62T 的 EV 卡丁车



↑ Nuon Team “Nuna7” (荷兰)



↑ 密歇根大学 “Generatio” (美国)



↑ 东海大学 “2013 Tokai Challenger”



↑ Solar Team Twente “The RED Engine” (荷兰)



↑ Stanford Solar Car Project “LUMINAS” (美国)



↑ “Team Allow” (澳大利亚)



↑ 多伦多大学 “Blue Sky Racing” (加拿大)



↑ “Onda” (意大利)



↑ Punch Powertrain Solar Team (比利时)

“用心造物”的召唤： 绕制电机^①，制作EV，冲向赛场！

〔日〕木村英树 执笔 | 赵智敏 译

从发动机时代迈向电机时代

21世纪有望成为电动汽车(EV)时代。多少年来，汽油发动机和柴油发动机这两种内燃机一直是汽车的主要动力源。工业革命以来，利用化石燃料和大气中的氧气，发动机能够输出巨大的动力，人类的生产效率获得了飞速提高。而且，大量的人和物能够流动起来，我们的生活变得丰富多彩。

然而，随着世界人口的爆发式增长，加之发展中国家的汽车保有量迅速增长，结果是地球温室效应、石油资源枯竭等问题日益严重，不得不引起人们的深切关注。

在这样的时代背景下，能源利用效率占优的EV逐步走向实用化、普及化。EV是以电机驱动的汽车，有电池电动汽车(BEV)、油电混合动力汽车(HEV)、燃料电池汽车等。现在的电机可以将电能的90%以上(有些甚至超过95%)转换为动力，能源利用效率是发动机的2倍以上。这是电机可以炫耀的优势。

另外，电机还不需要空转(怠速)，从静止状态就可以输出很大的转矩；也不需要传递动力的离合器，起动变得非常简单。

还有，电机和发电机本就具有相同的结构，只要改变使用工况，就可以将汽车在行驶时的动能转换为电能，提取出来。

这种由再生制动产生的能量可以存储到电池里，在以后的加速中再利用。再生制动功能是EV的一大优势，这个功能对发动机而言，是无论如何也实现不了的。



东海大学挑战中心“2009 Tokai Challenger”

为参加因穿越3000km 澳洲大陆而闻名的 World Solar Challenge^② (时称 Global Green Challenge) 开发，采用夏普高性能太阳能电池，首次夺冠

① 本书内容提及的“电机”皆指“电动机”。

② 世界太阳能车挑战赛：World Solar Challenge, WSC。



东海大学挑战中心“2011 Tokai Challenger”
为参加World Solar Challenge 2011而开发，为适应比赛规则的改变，采用了松下太阳能电池，并获得两连冠

学习电机技术和电子技术

EV中应用了电机、逆变器、电池等多项与电气相关联的技术。

不过，这些技术里包含的电压和电流、永磁体和电磁铁的磁力线，是摸不着、看不见的东西，有一种很难理解的感觉。还有那些伟大的科学家发现的欧姆定律、左手定则、法拉第电磁感应定律、焦耳定律等，都与电机的性质有紧密的联系，很多人会觉得很难。

实际上，这些定律就是把电流和磁场之间的性质联系起来的单纯规律。对于这些专业术语，如果能够正确地理解它们的含义，那么几乎所有的现象都可以用算术水平的知识说明，这并不是多么难的事情吧？本书将通过图片等对EV及零部件做简单易懂的说明。

为了能够自由自在地操控EV，要有能够控制电机电流的逆变器(电机控制器)。EV主要使用三相交流逆变器，它把电池的直流电转换成使电机旋转的交流电。这是以晶体管技术为基础的电力电子学的典型应用。从家电产品到新干线，电力电子技术被广泛应用。电力电子技术也是实现节能的关键技术，是当今不可或缺的技术。

掌握不同电机的工作原理，并动手制作，让它实际运行，这是一件非常愉快的事情。最近，自己制作电动汽车的人数在不断增加，从所谓的“节能行驶”(Econo Move)的小型EV，到把市售汽车的发动机和油箱换成电机和电池的改装EV等，各种各样的电动汽车陆续登场。



东海大学挑战中心“INAZUMA II”
2015年5月，在秋田县大潟村的专用赛道举办的2015 World Econo Move Light上夺冠



2015 World Econo Move Light 比赛开始时的情景

绕制电机，制作EV，参加比赛！

“从零开始制作EV？这是不可能的！”很多人会有这样的疑虑。CQ出版社为这些人推出了“CQ无刷电机和逆变器套件”，相关报道和书籍也一应俱全。以前较难找到的最新电机技术资料，现在连高中生和大学生也能轻而易举地找到了。电机中的线圈，怎样绕制好呢？最初也许会感到困惑，但经过几次实践就可以学会。

我们还准备了“CQ EV卡丁车套件”，在车体上组装电机，体验实际驾驶的乐趣，这样的时代已经到来。与汽车厂商生产的EV不同，EV卡丁车和无刷电机等都很简单，工艺也比较粗糙，但还是能够直接体验到电机的特性。

最近，驾驶EV卡丁车的机会多了起来，作为卡丁车爱好者的信息交流场所，“Econo Move Light”^①节能EV比赛在日本秋田县大泻村“Solar Sports Line”赛道和千叶县“Sodegaura Forest Raceway”举办，并正在扩大影响。

希望读者通过本系列书，深入理解各种电机及驱动方面的电子技术知识，进一步做出自己独具特色的EV，最后来到赛场一较高下。



东海大学挑战中心“2013 Tokai Challenger”
为参加World Solar Challenge 2013而开发的赛车。为适应比赛规则的改变，从3轮变成4轮，结果很可惜，只获得第2名

笔者介绍

木村英树



东海大学
工学部电气电子工学
教授

东海大学挑战中心
所长

① Econo Move Light 是基于 World Econo Move (WEM) 理念，并作为其初级赛事而设立的 EV 卡丁车比赛。——译者注

目 录

EV 赛报

冠军和亚军之间的技术差距究竟在哪?	001
-------------------------	-----

——从3000km太阳能车比赛“WSC”中看电子技术和汽车技术的应用

专题 驾驭 EV 无刷电机

EV 电机的基础知识	011
------------------	-----

——电机和发动机的特性是完全不同的

使电机具备符合需求的特性	028
--------------------	-----

——电压、电流、磁通的变化如何影响电机转动

EV 比赛用电机的设计和调试	046
----------------------	-----

——降低铁损和铜损,实现高效率

不同 EV 比赛中的电机选型与调试	059
-------------------------	-----

——不同赛道及不同比赛规则的针对性应对策略

特记 EV 制作挑战

高专一年级实践课程原创木制电动卡丁车的制作	066
-----------------------------	-----

——EV教育:课程内容与学习套件的开发

力争EV比赛冠军,明确目标值,进行电机控制	082
-----------------------------	-----

——2014年CQ EV卡丁车袖浦赛冠军报告

2014年CQ EV卡丁车袖浦赛赛事报道	097
----------------------------	-----

通过电子技术优化电机性能	099
--------------------	-----

——提高节能行驶比赛排名的方法

让无刷电机反转,并非反接电源就可以	106
-------------------------	-----

——为“CQ EV卡丁车”增加后退功能

测量仪制作

电机转矩测量仪的制作	113
------------------	-----

——成本 1 万日元,对额定输出功率100W级电机的测量精确度达到 99%

报告和评论

向全日本学生方程式EV锦标赛总冠军进发!	120
----------------------------	-----

——旨在推进“用心造物”的技术比赛课题与对策

EV 指南

自制 EV 零部件选购指南	125
---------------------	-----

——以节能行驶EV和太阳能车为中心

冠军和亚军之间的技术差距究竟在哪？

——从 3000km 太阳能车比赛“WSC”中看电子技术和汽车技术的应用

〔日〕下迫正博 执笔 | 赵智敏 译 罗力铭 校

以太阳能为动力源，穿越 3000km 澳洲大陆的太阳能车比赛，每两年在澳大利亚举行一次。2015 年 10 月举行第 13 届比赛。在 2009 年、2011 年两届大赛上取得两连冠的日本东海大学队，能否继续在 2013 年的第 12 届比赛上夺冠，实现三连冠，成为人们关注的焦点（照片 1）。比赛中有多方面的较量，技术上也很有趣。笔者每次都去现场采访，现将 2013 年赛况予以报告。

（编者按）

什么是 WSC？

● 迎来了开赛第 18 年的大陆穿越太阳能车挑战赛

具有 18 年历史的“世界太阳能车挑战赛”（World Solar Challenge, WSC），是使用自创的太阳能车，仅以太阳能为动力源，穿越澳洲大陆的比。具体情况是，从澳大利亚的北部城市达尔文市出发，到达南澳大利亚州的首府阿德莱德，全部赛程为 3000km（以斯图尔特高速公路为主），最先到达者获得冠军（图 1）。

澳洲大陆虽然有很多沙漠，但也不是每天都天

气晴朗，也有阴天和雨天。像这样，天气变化也是会影响太阳能车的。但不管怎样，参赛的太阳能车只能以太阳能转换而来的电能为动力源，向着终点行进。第一阵营大约需要 5 天才能到达终点。

该大赛是由冒险家 Hans Tholstrup 提倡创办的。1987 年举行第 1 届比赛，每 3 年举行一次，1999 年后改为每 2 年举行一次，到了 2015 年（10 月 18 日 ~ 25 日）已经是第 13 届了。

● 真正的团队比赛

参加 WSC 比赛的太阳能车，除了安装有将太阳能转化为电能的太阳能电池，还安装了用来存储从太阳能转换而来的电能的蓄电池（二次电池）。太阳能车是由电机驱动行驶的。虽说是电动汽车，但为了最有效地利用能量密度较低的太阳能，不仅要在电子技术上下功夫，还要最大限度地对车身进行轻量化设计，以及减小空气阻力。因此，通常做成与普通汽车不同的特殊形状。因为赛程较长，参考其他队的行驶状况，并根据天气预报来计划太阳能车的行驶也是非常重要的。

例如，今后几天是有利于发电的持续晴天，就可以多使用电能，提高速度，快速行驶；如果是不利于发电的阴天或雨天，就要降低速度，合理使用电池的余量，以便在不发电的情况下也能够持续行驶。也就是说，电能的综合管理非常重要。不管怎样，这也是总行程为 3000km 的超长距离比赛，平均能量利用效率 0.1% 的差别，也会导致 3km 的差距。当然，不仅是效率问题，还存在速度等其他因素。

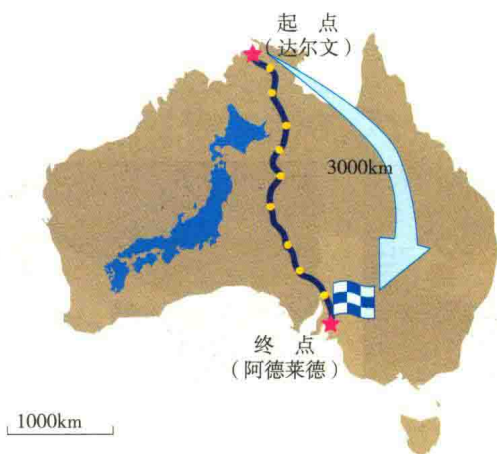


图 1 从澳大利亚的达尔文到阿德莱德的赛道
黄色点是控制停车点



照片 1 即将从达尔文市出发的“Tokai Challenger”

参赛的太阳能车(几乎所有的)都是由1人驾驶。比赛在普通公路上进行,在太阳能车的前后有同队其他成员和监视比赛情况的观察员同乘的服务车同行。服务车上装有警示灯,并贴有提醒注意的警示标志,以提醒周围的普通汽车注意。服务车会根据道路和天气的情况为太阳能车提供行驶指示,同时也要处理太阳能车出现的故障等。

● 因为是在普通公路上举行的比赛……

因为是在普通公路上举行的比赛,社会车辆没有限行,正常行驶。当然,太阳能车驾驶员必须持有汽车驾驶执照,并遵守当地的道路交通法规。最高速度是由各州法律决定的,北部的北领地限速130km/h,南部的南澳大利亚州限速110km/h。有些小城镇^①会限速50km/h左右。像这样在公路上举行赛车比赛,在日本几乎是不可能实现的。如果太阳能车也能像普通汽车那样在城市里到处穿行,能看到这样的景致也是一种奇妙的享受吧。

规定的比赛时间为上午8点到下午5点。下午5点左右结束当日的行驶,就近休息,并进行充电、车辆修整等工作。第2天的8点过后,就地开始继续行驶。如果运气好,下午5点左右正好经过的是一个小镇附近;否则,整个赛程都得在野外露营(几乎全是沙漠地带)。比赛时段结束之后到日落,以及清晨到出发前(8点)的时间,都可以通过赛车上安装的太阳能板给电池充电。3000km赛程上设有9个控制停车点,根据比赛规则,在每个停车点必须休息30min。

● 最近,来自大学的参赛队增加了

比赛开办的前几年(20世纪90年代),GM、本田、丰田等汽车厂商和HOKUSAN(现改名为AIR WATER INC.)、京瓷等太阳能电池厂商的代表队也参加了比赛。之后,来自大学的参赛队(大学代表队)渐渐地成为主流。2001年以后,夺冠的

也是大学队了。但是,比赛是先进技术的竞争,在技术和资金层面,缺少了赞助企业的支持与协助也不行的。

为了赢得胜利,要开发出符合空气动力学要求的车身、最优的发电方式、符合天气变化的能源管理,从资金的筹集到寻求赞助,包括这些内容在内的与开发、运营相关的团队协作和运营管理等能力是不可或缺的。这也是将其称为“烧脑比赛”的原因。

下面介绍2013年第12届WSC。这届比赛的看点就是,在第11届、第12届比赛中夺冠的东海大学队能否实现三连冠(见表1)。

2013年WSC概述

● 大赛分为3个级别

从2013年起,WSC比赛分为以下3个级别。

(1) 挑战者级

挑战者级是最为核心的比赛类型,是以从太阳能转换而来的能源为动力的竞速赛。挑战者级参赛车型为单座设计的太阳能车(照片2)。从2013年开始,比赛规定赛车必须是4轮车(此前多使用车轮行驶阻力、空气阻力较小的3轮车)。这是因为,要考虑以100km/h的速度在公路上行驶时的安全性。

(2) 巡航者级

这是2013年首次设置的比赛类型,目的是使车型更接近普通汽车。比赛途中,允许通过民用电源充电,巡航者级参赛车型为两座设计的太阳能车(照片3)。

(3) 冒险者级

按照往届比赛规则制作的太阳能车也可以参赛的类型(照片4)。每届比赛都会对比赛规则做大幅修改,并不是所有参赛队每次都能开发出新的车辆,作为一个补救措施,2007年首次设置了这个类型的比赛。



照片2 挑战者级
东海大学“Tokai Challenger”



照片3 巡航者级
Soler Team Evolution“STELLA”



照片4 冒险者级
神奈川工科大学“SIKIT II”

① 实际上就是一个有加油站和汽车旅馆,或者几户人家的聚落。每户人家都相隔几十公里。

表 1 WSC 历届冠军团队

年份	冠军太阳能车	团 队	国 籍	用 时 / (h : m)	平均速度 / (km/h)
1987	Sunracer	GM/Aero Viroment/Hughes Aircraft	美 国	44 : 54	66.9
1990	Spirit of Biel	Biel School of Engineering and Architecture	瑞 士	46 : 08	65.2
1993	Honda Dream	本田技研	日 本	35 : 28	85
1996	Honda Dream	本田技研	日 本	33 : 53	89.8
1999	Aurora 101	Aurora Vehicle Association	澳大利亚	41 : 06	73
2001	Nuna 1	Nuon Solar Team (Delft University of Technology)	荷 兰	32 : 39	91.8
2003	Nuna 2	Nuon Solar Team (Delft University of Technology)	荷 兰	31 : 05	97.02
2005	Nuna 3	Nuon Solar Team (Delft University of Technology)	荷 兰	29 : 11	102.8
2007	Nuna 4	Nuon Solar Team (Delft University of Technology)	荷 兰	33 : 00	90.87
2009	2009 Tokai Challenger	东海大学挑战中心	日 本	29 : 49	100.54
2011	2011 Tokai Challenger	东海大学挑战中心	日 本	32 : 45	91.54
2013	Nuna 7	Nuon Solar Team (Delft University of Technology)	荷 兰	33 : 03	90.71



照片 5 2009 年 “Tokai Challenger”



照片 6 2011 年 “Tokai Challenger”



照片 7 2013 年 “Tokai Challenger”

● 不断变化的比赛规则

比赛的主要类型——挑战者级历届冠军见表 1。随着太阳能车的性能提高，平均时速超过 100km 时，就接近公路的限制时速了。这样比赛就无法进行了。为了保证比赛的顺利进行，也考虑到安全，在此之

后举办的各届比赛，它们的规则都进行了大幅地调整。例如，2007 年比赛之后，每届比赛都进行了比赛规则的修改。

(1) 2007 年比赛

在上一届的比赛中，夺冠的 Nuon Solar Team 队 “Nuna3” 的平均时速已经超过 100km。为了限制车速，允许安装的太阳能电池板的面积由原来的 8m² 改为 6m²。同时，还对车手的坐姿、座椅角度等也进行了规定。以前为了减小空气阻力而采用的躺坐姿势，现在因为座舱空间的限制而不复存在。

(2) 2009 年比赛

东海大学队 “Tokai Challenger” (照片 5) 阻止了荷兰 Nuon Solar Team 队的五连冠，实现了 1996 年本田队夺冠以来的日本团队的再次夺冠。冠军车 “Tokai Challenger” 的比赛平均时速为 100.54km，再次超过 100km。

(3) 2011 年比赛

上届比赛之前，包括冠军车队在内，有一些团队使用了能量转换效率较高的化合物太阳能电池 (转换效率约为 30%)。根据比赛规则，这些化合物太阳能电池面积不得超过 3m²。从实质上讲，这其实是在排斥化合物太阳能电池的使用。如果不是为了获得冠军，有哪个车队愿意使用价格昂贵的航天太阳能电池板呢？而与之不同的是，单晶硅太阳能电池 (转换效率为 20% ~ 22%) 的面积限制不变，仍然为 6m²。虽然单晶硅太阳能电池与化合物太阳能电池存在性能差异，但对使用面积的限制不同，实际上单晶硅太阳能电池的电力输出能力反而比化合物太阳能电池高出 30% 左右。

采用松下 HIT 单晶硅太阳能电池的 “Tokai Challenger”，以平均时速 91.54km 的成绩夺冠 (照片 6)。

(4) 2013 年比赛

由于比赛规则强化了对安全方面的规定，一直以来作为主流的 3 轮太阳能车被禁用，参赛的车辆必须为 4 轮（照片 7）。同时，为了确保驾驶员的安全和视野，加大座舱盖也成了必然。

● 2013 年的技术趋势

(1) 车体形状

车体的结构已经很接近赛车了，它是由硬铝合金构成的框架结构和碳纤维材料构成的硬壳式结构所组成的。从 2013 年开始，此前一直作为比赛主流的 3 轮车被禁用。比赛规则强制要求使用 4 轮车。同时，还规定车体长度为 4.5m，比以前缩短了 500mm。

从 3 轮改为 4 轮后出现了两大课题。一是 4 个车轮与驾驶员座舱的配置，特别是座舱位置只能从车身下部突出。如图 2 所示，太阳能车的车轮数量为 3 时，可以将驾驶员座舱很好地配置在单轮前后。这样就可以减小前方投影面积。当太阳能车的数量为 4 轮时，可以考虑把座舱设置在左侧或右侧 2 轮之间，或者设置在车体的中部。前者的缺点是左右平衡受到破坏，对于 3000km 这样的长距离，总担心会对行驶性能产生影响。后者虽说是左右对称了，座舱配置在中央时，车身以下突出部分的空气阻力必然要比以往的 3 轮车型有所增加。但行驶的安全性比前者有所提高。

因此，有很多团队采用把驾驶室设置在单侧车轮的一侧（照片 8），有利于减小空气阻力。这种非对称车体被称为双体船车型，有不少参赛队采用这种车型。

另一个课题就是驱动轮的数量，这一问题将在后面叙述。

(2) 安全规定（视野）：加大并前移座舱盖

以前的规定为“眼睛能看到前方”。现在规定为视野必须确保能目视前方 4m 之处及下方 0.7m（眼

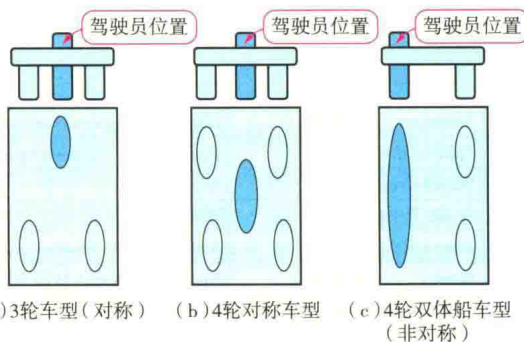


图 2 3 轮、4 轮和双体船车型的座舱配置比较

与 (b) 相比，(c) 的前面投影面积较小，且车体以下突出部分也可做得很小

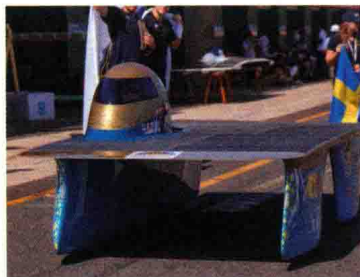
点距 0.7m)，也就是要求能够看到地面。因此，以前考虑空气阻力，在车体后部设置小座舱盖的方式已经不可取，现在必须采用较大的座舱盖，且位置从车体中部前移（照片 9）。

(3) 太阳能电池

1987 年夺冠的车辆安装了化合物太阳能电池（几乎都是航天卫星上使用的），由于其价格昂贵、购买困难，单晶硅太阳能电池是 20 世纪 90 年代的主流配置。到了 21 世纪初，可以较低价配置化合物太阳能电池，很多成绩较好的队几乎都使用化合物太阳能电池。但自从 2011 年比赛规则设置了速度限制，单晶硅太阳能电池的使用再次成为主流。2013 年的参赛车辆，大都安装了 1100 ~ 1300W 的太阳能电池板（照片 10）。

(4) 集光器

有些方法可以增加太阳能采集能力，如不直接将太阳能电池张贴在车身的表面，而是让它们在行驶时收纳在车体内，早晚时段和控制停车时将它们延展开来进行充电的附加面板及镜面（反射板）等，其实都是用于扩大车体实际受光面积的。这些在以往比赛中都是被禁止的。另外，以往的比赛规定，太阳能电池只能从化合物系和单晶硅系中选一种。2013 年的比赛对这些规则进行了修改，允许单晶硅



照片 8 双体船车型
(瑞典延雪平大学) Solar Team



照片 9 大型座舱盖设置在前方
Solar Energy Racers (瑞士)