

電気自動車を用いた設計製造の機械工学教育

坂本 東男

高知工科大学 工学部
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮の口 185
Email: sakamoto.haruo@kochi-tech.ac.jp

要約:1997年4月に高知工科大学が開学した。教員として参加し始めたすぐの5月に手作り3輪小型自動車が高知城の公園に展示されていた。この展示で高知県に於いてエコパワーレース(ガソリンの燃費を競う競技)を実施していることがわかった。学生さんに参加を呼びかけたのをはじめとして、その課外活動や研究室での学習活動で電気自動車を使った3D-CAD設計と製造に関与してきた。2007年度も引き続き活動をしている学生さんもおられるがここでは1997年から2006年までの10年間のまとめを報告したい。最初の2年間は学部1-2年生の課外活動が主体であるが、それ以降、4年生と修士が我々の研究室で電気自動車の設計製造をテーマの1つとして学習(卒業生の約1/4)している。電気自動車の設計製作以外の主なテーマは小型風力発電機、インターネットコラボレーション設計、災害情報システム用模型飛行機、小型水力発電機など多彩であるがもの作りをキーとした学習である。

1. はじめに

1997年4月の高知工科大学の開学直後である6月位から手作り小型3輪自動車のレースに関与することになった。きっかけは5月の始めに高知城公園に展示されていたうちエコパワーレース用のレース車に興味を持ったことであった。筆者は企業出身でありこのような課外活動の教育経験がないものの、学生に参加を呼びかけたところ5チームが参加の意志を示された。その内、2チームが電気自動車での参加を希望された。チームに自分達で考え設計し、材料を調達して製作することを求めた。参加人数は25-30名であったと記憶しているが、細かい面倒を見るのは無理であり筆者は予算確保、運搬などサポートに回った。それ以来、課外活動や研究室での学習活動は学生自らが進める期待して設計と製造の学習をサポートしてきた。

課外活動では最初に述べたうちエコパワーレースと四国電気自動車ラリー(日本で唯一公道を使用するラリー)に参加している。3年生前期(最近は後期)から研究室に配属されるが、我々の研究室では1、2年の課外活動参加が影響して電気自動車の設計製造が1つのテーマ分野である。今までの卒業生の約1/4が電気自動車関連のテーマに挑戦した。研究室で実施してきたテーマは全て手作りであるが、小型4輪、3輪電動アシスト、2輪(バイク)などの電気自動車と電動耕うん機などである。それらのテーマでは1人で全てを実施した場合もあり、3人などのグループで実施した場合もある。

機械工学はものづくりの基本であり、ものづくりは設計製造が中心である。学生時代にこのような設計製造の経験を持つことは、社会に出て機械工学に関与する仕事に従事する際に重要なことと考える。その経験の元に筆者の専門である材料力学などの力学を学べばより高度なものづくりの手助けとなると期待している。このような考え方から、電気自動車の設計製造の学習は学生の技術向上となりうるものではないかと関与してきた。

以下、それらの課外および研究室での設計製造に関する学生活動を報告したい。



図1 1997年11月 うちエコパワーレースに参加した高知工科大学チーム



図2 小型ガソリン自動車と電気自動車Aチーム

2. 電気自動車を使った課外活動¹⁾

2.1 こうちエコパワーレース(1997)

高知ではトヨタビスタ高知株式会社(現ネットトヨタ南国株式会社)が主催する手作り小型3輪自動車のレースが毎年11月に高知県大豊のモーターランド立川で開催されている。筆者は企業出身でそのような学生の課外活動を援助する経験がなかったものの、1997年開学直ぐの6月頃1年生の学生に参加を呼びかけたところ5チームが参加されることになった。1チームは高校時代からレースに参加しており、大学の学生と高校時代の友人の参加であった。レースで見させて頂いたが経験があるだけ見事な出来であった。1つのチームは参加したい希望であるが、実際に自動車を作ることがなく、トヨタビスタ高知株式会社が所有するラリー車を借りてレースに参加した。残り3チームが自分達で実際に製造して参加した。11月の始めにレースが開催されたが全国から約50チーム(高知からは10チーム程度)が参加された。図1に高知工科大学から参加された5つのチームメンバーを示す。左から高校からの継続、電気自動車A、電気自動車B、ガソリンエンジン、トヨタビスタ高知株式会社からの車借用のチームである。

図2にガソリンエンジン小型自動車と小型電気自動車Aチームを示す。ガソリンエンジン自動車チームは開催日の直前に徹夜を続け、開催日の朝5時にやっと車が完成した。しかしながら、エンジンはかからない。過去にレースに参加した方は経験があるのでとにかく運んでエース場に向かうことになった。朝9時からレース開始であるが、最初はまるでうんともすんとも言ってくれない。ベテランの方がエンジンを分解して見てくれたところ弁を逆につけていることがわかり、正規の位置にしたところプロスンプトンと言い出した。12時が午前のセッションの終了であったがその直前に参加した。レース場はサークル状で約400mであり、走っているのが見える。見てみると牛乳瓶のようなガソリン入れの中身が見る見る内に減っているのがわかった。ガソリンがなくなり、途中退場となつた。午後からは継ぎ足してもOKとなりやっと完走できた。ガソリンの消費が極端に多かった原因は2気筒エンジンに使われているゴムが伸びきっていたためである。記録は28km/lで、大会史上最悪の出来であった。我々の学生の出来は決して良いものではなかったが、とにかく初めて車を作りレースに参加し、完走したと言う成功体験ができている。

一方、電気自動車A、Bチームはレースに参加すると他のチームとカテゴリが異なるためレースには参加でき

ず、デモ走行をレースの終了後に実施させて頂いた。2チームともガソリンチームと同様製作に徹夜を続けていたが自動車を作りデモ走行ができた。電気自動車のデモ走行中トヨタビスタ高知株式会社の横田英樹社長から紹介を依頼されマイクで説明を実施した。

高知工科大学から参加し、初めて小型ではあるが自動車を製作した3つのチームは1年生からそれぞれものづくりの体験ができた。

2.2 四国電気自動車ラリー(1998)

高知エコパワーレースの準備をしている途中で1998年に四国電気自動車ラリーが開催されるニュースがあった。高知県庁から勧められてラリー委員会(委員長が鳴門教育大学宮下晃一先生)の委員である高知工業高等専門学校野村弘先生(現名誉教授)にお会いした。即委員参加を求められ、四国電気自動車ラリーの準備をすることになった。このラリーは公道を使用する事が特徴である。

他のレースは限られたレース場のなかで実施しているため、自動車の車検は必要としない。本大会も高知工科大学から3チームが参加することになった。チームの母体はこうちエコパワーレースに参加した学生さんである。自分達で進める事を前提として準備が始まったのが1998年の6-7月である。以来8月中旬の開催日に向けての努力が始まった。

小型乗用車を貰い受けあるいは購入して、エンジンを取り扱い、モーターと電池を取り付ける作業である。軽四輪の電気自動車への改造はそれほど困難でないため、3チームとも最終的には完成している。しかしながら、実際に使われた軽四輪であり、改造にはやはり時間がかかったようである。電気配線が難しかったチームもあった。配線を取り替える場合は札などでどこについていた配線であるか、記録するものである。それをしなかつたチームは線を除いたのはよいが配線し直しではウインカーのものをテールランプのものにつけたり若干ちぐはぐを行っていた。また車検もかなり困難を極めた。8月中旬の開催に合わせ、準備に時間がかかったため、3チームともその間際の1週間前に車検場に自動車を持ち込んだ。最初に持ち込んだチームは不備が多く、結局3回車検して貰い一番遅れたチームとなった。車検場に持ち込むのが遅れたチームはその情報を貰い、比較的時間がかからず車検を通過した。

レースは高松から新居浜、池田、徳島、室戸、そして最終が高知のコースで行われた。高知工科大学の3チームは運搬の困難さを考慮して徳島から参加した。図3にレースの様子を示す。上がレース開始の状況であり、下は電池を充電している様子である。高松からのレース

に参加した直後、1つのチームの自動車が動かなくなつた。筆者はラリー委員であったため、状況などがわからなかつたが、部品を近くで調達してなんとかラリーを続けられたようである。最大の難関は室戸青少年の家までの走行で青少年の家は高い所にあり、電池が持たない状況であった。いくつかは押して坂道をあがつたようである。また室戸での充電も十分な時間が必要で、チームは2つに分けられ、運転者とナビゲーターは休養を取るため準備された宿舎に泊まつた。他の学生さんは夜通しでコンクリートの上に仮眠をしながら、充電を見張つていた。

図4は高知ぢばさんセンターにゴールした3チームである。3チームとも製造、車検取得、走行とそれぞれに苦労しながら完走できた。これも工学教育での成功体験として貴重なものであったと学生達をたたえたい気持ちであった。図5はラリー終了後のパーティの様子であるが皆すがすがしい顔であった。



図3 レースの状況
(上:スタート、下:室戸あたりの充電状況)



図4 高知ぢばさんセンターにゴールした3チーム

図6にMIT (Massachusetts Institute of Technology)から参加したソーラーカーを示す。

このソーラーカーの価格は約 1,000 万円以上と言われ、いろんな米国企業からの寄付を受けてできている。高知工科大学の自動車改造費用は 20-30 万円/1台ではなかつたかと思われるが、費用以上に MIT と交流できたことなど教育効果が大きかったと考えられる。MIT の一行 20 名程度と学生はラリー参加以外に四万十町大正、四万十市西土佐、香美市物部、高知市で交流会を実施した。

尚、本大会に使用した改造電気自動車は筆者が1998年に担当した学生実験に使用した。自動車にひずみゲージと加速度計をセットした走行試験により応力と加速度のデータを採取するものである。そのデータを元に、レポートにまとめることと発表を要求した。



図5 ラリー終了後のパーティの様子



図6 MIT からのソーラーカー参加
(大学でのデモの状況)

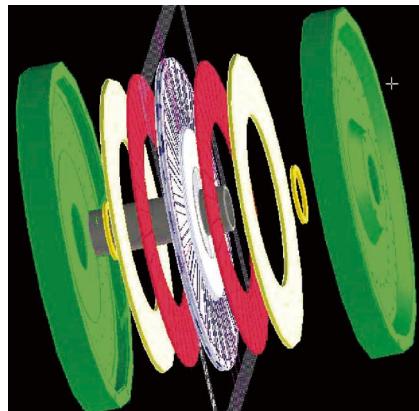


図7 学生と企業がインターネットで交信して作成した
発電機の画像

3. 3D-CAD 学習

電気自動車を始め製品の設計製造には CAD などでアイデアを具現化する必要がある。電気自動車の設計製作の準備として 3D-CAD を学習して貰った。随分前はトレーサーを使った製図によるアイデアの具現化と製造図面を作成していた。製品は立体的なものであり、3D-CAD を使ったアイデアの作成が望ましいと考えられる。図面作成が若干正確さを欠いても製作する製品のイメージはとらえられるし、アセンブリーでのミスマッチから間違いも見つけられる。そのような観点から研究室では当初から 3D-CAD の学習を要望していた。最初に使った 3D-CAD ソフトは Solid Edge と Solid Designer である。研究室学生により 2000-2001 年度に作成した Solid Designer による発電機の画像を図 7 に示す。この発電機は実用化されており本紀要にその研究状況も報告した。図 7 の発電機の設計は研究室の学生と高知県企業（株式会社坂本技研²⁾）が共同で実施したもので画像はインターネット³⁾⁻⁵⁾で送受信して内容を話しあうものである。

2003 年度前期より筆者は 3 年生対象に 3D-CAD を大人数教育で教えることとなった。企業勤務時には設計部門の管理職は経験しているが自分で図面を書いたことはなく、アイデアのスケッチを同僚に渡して図面化をして貰っていた。しかしながら、教員として 3D-CAD を教える立場となり、まず適正なテキストの選定にかかった。手巻きウインチの設計が適正と考え、テキスト⁶⁾による学習を実施した。テキストの説明で部品寸法決定のための計算式が与えられている。また、各部品の 2 次元図面が添付されている。最終的にはそれぞれの部品および全体のアセンブリーで作図が適正であったか確認できる。毎年 70-80 名が受講するが時間がかかる作業であり、約 70% が最終まで到達する。この前期の講義は 15 回の 90 分授業であり合計 22.5 時間がクラス内時間であるが、クラス外も含め平均的にその 2-3 倍必要としている。図 8 に手巻きウインチのアセンブリー図を示す。

3 年生後期は研究室に配属されるが、4 年生あるいは修士でのものづくり学習を実施するには 3D-CAD をさらに学習することが望ましいと考えた。

テキストでなく実際に製造された製品の 2 次元図面をメーカーから借用して 3 年生の学生に 3D-CAD を作成して貰った。図 9 にペアリングの嵌め合い圧入ジグとエルボタイプのパイプ選別コンベアのアセンブリー図を示す。ペアリングは 3 名の、コンベアは 6 名の共同作業であるが、作成にかかった時間は前期でなれたためか、平均 25 時間/1 名であった。以上の 3D-CAD 学習により、4 年生からの卒業研究あるいはプロジェクトの準備は整った

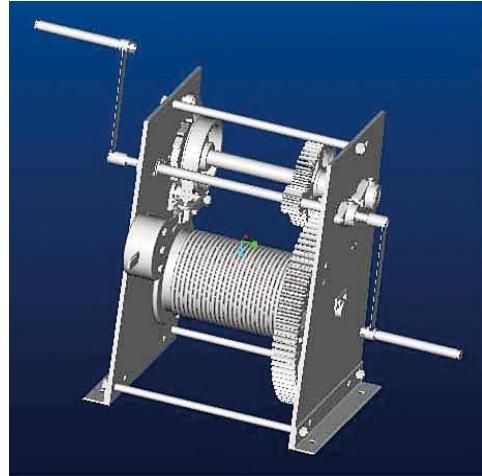


図 8 3D-CAD による手巻きウインチの画像

と考えられる。

尚、最近使用している 3D-CAD ソフトは ProEngineer, Solid Works, I-CAD(国内製)である。3D-CAD ソフトはそれぞれ機能、特徴(英語のみか日本語かなど)があり、できたら複数の CAD を経験することが望ましいと考えた。

4. 電気自動車による研究室での設計製造学習

1997-1998 年の課外活動の後、研究室配属となってから手作りの電気自動車に挑戦する学生さんがいた。自分で考え、設計し、製作することを期待してきた。過去の製作事例からいくつか紹介したい。

4.1 手作り小型4輪電気自動車^{7),8)}

2000 年から手作り小型 4 輪電気自動車に挑戦したのは主に 2 名であるが、風力発電機を学習した学生も手伝っていた。図 10 の左の自動車が製作第 1 号である。しかしながら、この自動車は重すぎて、動くものの目標であった走行最大速度 30km/h と 1 回の充電での走行距離 30km は未達であった。鉛電池を使っているため、重量がかなり重くなっていた。3 名(4 年生から修士まで)の学生の 1 人はこの自動車の設計製作を米国機械学会で発表した。発表した日がテロ攻撃の 2001 年 9 月 11 日であり、場所はピットバーカーク(攻撃を受けた場所の 1 つ)である。記憶に残るというか、忘れえない事件であった。図 10 の右は第 2 号の製作自動車である。フレームの軽量化を図り、イオンリチウム電池、ジョイスティック、無線 LAN を使用するなど乗りやすく、運転しやすい自動車を目指している。大学周辺では高齢者も多いため乗りやすいことを主眼としたが、フレーム強度に懸念があり、次の第 3 号を設計製作することとした。従来 CAD



図9 ベアリングセッティングジグとエルボパイプの選別用コンベア



図 11 第3号の手作り小型電気自動車のフレームと出来上がり



図 10 第1号(左)と第2号(右)の手作り4輪小型電気自動車

で設計したフレームは3D-CADソフトに付随した応力解析を実施してきたのであるが、出来上がったフレームのたわみまでは考慮されていなかった。後継の修士学生が作った第3号の自動車について、図11にフレームと出来上がった自動車を示す。この自動車は目標である30km/h走行速度と30km走行/1充電をクリアした。

4.2 手作り3輪電動アシスト自転車⁹⁾

電気自動車と高齢者に優しい乗り物の考えから4年生3名がグループで3輪電動アシスト自転車に挑戦した。この時には高知県企業と共同で高知県の補助金も頂いて設計製造を行った。検討を始めた時点では3輪電動アシスト自転車は世の中にはないものと判断していた。設計を終了する頃に千葉県のベンチャー企業（アシスト無しの3輪自転車は売り出していた。）が電動アシスト3輪自転車の製造販売を開始するとのニュースが聞こえてきた。そこで前2輪の機構（学生のアイデア）は複雑であることから製作日程を考え、前二輪の部分はそこから調達させていただくこととした。この3輪電動アシスト自転車の概念は陸運局へ学生がヒアリングして決めたものである。即ち、自転車と歩行者がともに使える歩道である表示があればこの3輪電動アシスト自転車は歩道でも使用できる。



図 12 前2輪の電動アシスト3輪自転車



図 13 後2輪の3輪自転車

3名のチームの内1名は制御を担当した。走行の仕様は1-6km/hでは通常の電動車で6-25km/hでは電動アシスト自転車での走行である。この仕様に合うようにH8マイコンなどを用いて制御回路を組み立てた後、走行性能を確認した。その後、前2輪の3輪自転車は運転しづらいとの意見がでて次の年の4年生1名が図13に示す後2輪の3輪自転車の設計製作を行った。以上の検討から3輪電動アシスト自転車の技術はある程度できたと評価しているが市場のニーズがないためもあり、普及にこぎ着けるステップに移る段階にいたっていない。

4.3 モーター駆動バイク⁷⁾

2003年度に電気バイクを卒業プロジェクトに選んだ4年生の学生さんがいた。ミーティングでは会うもののプロジェクトの進捗や問題点の相談が一切なかったため、指導教官としては若干心配していた。学生の皆さんには自分で考え、自分で進めるように言つてはいるものの、まるで進捗がわからないと心配になる。4年生の最後の1月になってこの学生さんからできたのでレポートとバイ

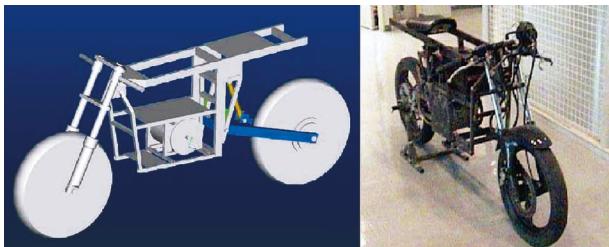


図 14 電気バイク

クを見てくれとの話があった。見させて頂くとレポートもバイクのできも図 14 に示すように見事であった。溶接もご自分の実家で実施され、設計、溶接を含む製造、アセンブリー、そして走行試験と全て1名で実施されていた。この学生さんは現在米国で勉強中であるが記憶に残る学生さんで立派な技術者となることが期待される。

4.4 家庭菜園用電動耕うん機^{10),11)}

2003-2004 年度には耕うん機の設計製作に興味のある修士の学生さんがモーターを使った手での作業による耕うん機のプロジェクトに取り組んだ。目的とした 5cm までの耕うん作業は十分可能であるとの結果を得ているが持って作業するため、高齢者には負担である。このことから 2005-2006 年度には有線による自動の電動耕うん機に修士学生 1 名が挑戦した。図 15 に CAD 図とその動きを示している。使用したソフトは機構解析が可能な Solid Works である。これは狭い土地で耕うん機を直角に移動できるように考えた設計と有線での制御を特徴としている。この動きのため機構解析を用いている。図 16 は試作した電動耕うん機であり、意図した性能は確認された。

以上に報告した研究室での設計製造に関する学習活動では(1)まず自分で何を目指すかを考えることを要求してそれを具現化する努力が見られる。(2)具現化に 3D-CAD を使って作る製品のイメージを明確にして図面化(製造時に重要)している。(3)製品を製造してその動きなど性能を自分で評価出来ている。(4)中には満足できない出来映えもあったかもしれないが、少なくとも設計製造の体験は得られている。

このような体験は社会に出てからの自信に結びつくこととさらなる機械技術者としてのレベル向上に役立つことを期待したい。

5. 考察とまとめ

本報告は著者が機械工学に関与することから機械工学を中心とした工学教育を取り扱っている。最近、機械など1分野に拘らない総合学習の大学教育の話題もでている。大阪大学教育実践センター¹²⁾では人

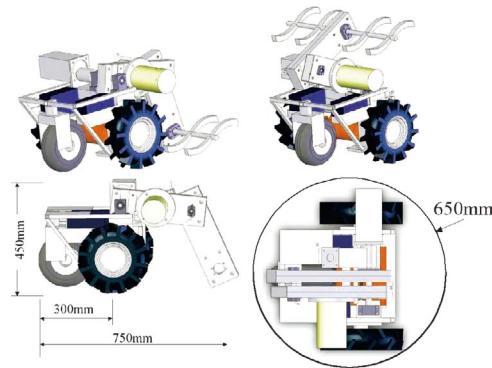


図 15 電動耕うん機の CAD による動き



図 16 製造された電動耕うん機

文系と理学系をいた全学的な教育実践を開始しているようである。また 2004 年度に経済産業省から資金を頂き MOT(技術経営)の学習と実践を実施した。その際筆者の米国の友人に講師として大学でプレゼンテーションをして頂いた。米国の IDEO(450 名の世界最大の設計会社、スタンフォード大学近傍の Palo Alto に事務所)では製品の設計開発が従来と違うものであることがわかった。即ち技術者ののみのチームで構成されるのではなく、経済や経営などマネジメントの他、心理学の専攻も含んだ人たちでブレインストーミングを実施し製品を設計する。客のニーズにあったもの作りは機械など工学分野のみでなく、広い分野で検討することが重要であると認識させられた。大阪大学教育実践センターでもこの IDEO の実施方法を紹介していた。高知工科大学でも 2008 年度よりマネジメント学部ができるので大阪大学など他の動きも参考にして今後の工学教育を考えることが望まれる。

謝辞

本報告の教育活動で四国電気自動車ラリーへの参加を勧めて頂いた高知工業高等専門学校野村弘名誉教授はじめ多くの関係者や企業の方に御世話になったことに篤く感謝したい。また研究室の学習活動で積極的に参加された卒業生の皆さんに感謝したい。また CAD 作成で次元図面を拝借した住金関西工業株式会社にお礼申し上げたい。

文献

- (1) Sakamoto H., "Ten Years Educational Activities Using Electric Vehicles at Kochi University of Technology, 1st Report of Extracurricular Activities in 1997-2000", J. of Asian Electric Vehicles, Vol. 5, No. 2, pp1067-1072, 2007
- (2) 株式会社坂本技研ホームページ
(URL=<http://sg.kcan.ne.jp/>)
- (3) Sakamoto H. and Takemura T., "Education and Internet Integration of 3D-CAD Design and Manufacturing for Complex Product", ASME, DETC-34368, 2007
- (4) Sakamoto H., Tsuneishi T., Sakamoto M., "Product-based Internet 3D-CAD Design Education", ASME Int. in Washington DC.,2003
- (5) Sakamoto H., Tsuneishi T., Sakamoto M., "Internet Collaboration of 3D-CAD Design and Manufacturing for Product Development", ASME IDEC, DETC2003/ DFR-48138, in Chicago, 2003
- (6) 技術教育委員会, "手巻きワインチの設計" パワ一社, 1991
- (7) Sakamoto H. and Amimoto K., "Education of Design and Manufacture Using Hand-made Small-sized Electric Vehicles", J. of Asian Electric Vehicles, Vol.2, No.1, pp565-570, 2005
- (8) Sakamoto H. and Amimoto K., "Design, Manufacturing, Analysis, and Control for Small-sized Vehicle with Renewable Energy", J. of Asian Electric Vehicles, Vol.3, No.2, pp751-755, 2005
- (9) Sakamoto H. and Furuya M., "Design and Control of a Motor-assisted Tricycle", J. of Asian Electric Vehicles, Vol.3, No. 1, pp703-708, 2005,
- (10) Sakamoto H. and Tsuneishi T., "Manufacturing and Control of an Electric Power Tiller", J. of Asian Electric Vehicle, Vol. 3, No. 1, pp697-702, 2005
- (11) Sakamoto H., "Development of an Electric Powered Tiller for House Gardening", J. of Asian Electric Vehicles, Vol.1, No. 1, pp 961-966, 2007
- (12) 大阪大学教育実践センターホームページ (URL:
<http://www.cep.osaka-u.ac.jp>)

Mechanical Engineering Education for Design and Manufacturing using Electric Vehicles

Haruo Sakamoto

Faculty of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami-city, Kochi 782-8502 JAPAN
Email: sakamoto.haruo@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Kochi Eco-Power Race, which is the competition of gasoline mileage using hand-made three-wheel vehicles, was held in Nov., 1997. Right after the inauguration of Kochi University of Technology, the students were appealed to join, and five teams applied. Two teams joined with their hand-made three-wheel electric vehicles. In 1998, Shikoku Electric Vehicle Rally using electric vehicles converted from mainly light weight gasoline-powered vehicles was conducted in the east-side area in Shikoku Island, and three teams joined from the university. Since then, one educational activity in our laboratory has been design and production of electric vehicles, which include small-sized four-wheel, three-wheel (tricycle), two-wheel (motorcycle) electric vehicles, and electric-powered tillers for house gardening. The participated students in the laboratory activities have thought their idea, designed by 3D-CAD, and fabricated by either one student or a group work. This report is the history of the design and production engineering education using electric vehicles.