

知能機械システム工学科卒業論文

小型電気自動車の設計及び駆動制御

高知工科大学

知能機械システム工学科

戒能 徹

小型電気自動車の設計及び駆動制御

概要

目標

近年、電気自動車が環境保護の観点から注目されている。しかし現在の市販されている電気自動車は数機種あるが実用車として普及するまでに至っていない。電気自動車が普及されていない要因として長距離輸送が難しい問題点がある。したがってコンピューターとして近距離輸送の運用を目的とした実用的な小型電気自動車の開発することにした。

次に、来たるべく高齢化社会にむけて高齢者にも安全で運転が容易なシステムを開発する必要がある。そのためITS (Intelligent Transportation Systems) の一環として小型電気自動車をベースに半自動運転化する実験を行なうことにした。半自動運転化の目標は駆動装置を制御することにより、簡単な運転システムを開発することにした。以上の二点が本研究の目標である。

創意工夫点

小型電気自動車は半自動運転化することを前提としてフレーム構造から独自に考えて設計及び製作をおこなった。そのため小型電気自動車の操作はジョイスティックだけで前後進と旋回の動作が可能である。

実験内容

本研究では小型電気自動車の設計及び製作をおこなった。また、我々は小型電気自動車を半自動運転化するために、原動機であるインホイールモーターやステアリング機構にとりつけたサーボモーターの駆動制御をおこなった。

実験結果

小型電気自動車は完成後に実際に走行実験をおこなった。走行実験は動作確認をおこなうためにおこなわれ、多くの問題点を抽出することが出来た。完成した電気自動車は重量過多であるために応力解析をしてフレームを見直すことにした。また原動機であるインホイールモーターの出力が不足しているために、ギア比を減速させて対応した。

今後の課題

今後の課題は、走行実験において走行性能の定量化があげられる。また、ソフト面の課題として制御回路を簡略化しなければならない、などがあげられる。

目次

1．緒言

2．研究の目的

- 2．1．坂本研究室での取り組み
- 2．2．実用化の目標
- 2．3．研究テーマ

3．実験装置

- 3．1．小型電気自動車について
- 3．2．ホンダ製インホイールモーター
- 3．3．マイクロコンピュータ
- 3．4．サーボモーター

4．実験方法

- 4．1．実験装置の選定
- 4．2．小型電気自動車の設計・製作
- 4．3．マイクロコンピュータを使用しての制御
- 4．4．走行実験

5．駆動制御

- 5．1．後輪の駆動制御
- 5．2．ステアリング機構の駆動制御

6．走行実験及び改善点

7．実用化までの問題点・課題

8．結言

謝辞

学会発表

参考文献

付録

1．緒言

近年、化石燃料を使用する自動車の増大は、大気中の二酸化炭素濃度を高める要因になり地球温暖化の原因となっている。したがって燃焼による排気ガスを出さない電気自動車が環境保護の観点から注目されている。しかし現在の市販されている電気自動車は数機種あるが実用車として普及するまでに至っていない。電気自動車が普及されていない要因として走行性能がバッテリーの性能に依存するという問題点がある。この問題点からバッテリーで走行する電気自動車は長距離走行に向かないことがわかる。そのため今回の研究では、長距離輸送の運用を目的とした電気自動車ではなく、通勤用として近距離輸送の運用を目的とした実用的な小型電気自動車の開発を行なうことにした。

また、来たるべく高齢化社会にむけて高齢者にも安全で運転が容易なシステムを開発する必要がある。そのためITS（Intelligent Transportation Systems）の一環として小型電気自動車をベースに半自動運転化する実験を行なうことにした。半自動運転化の目標は駆動装置を制御することにより、簡単な運転システムを開発することである。

2．研究の目的

2.1．坂本研究室での取り組み

坂本研究室では97年度より電気自動車の製作を開始した。97年度には、図.1に示す一人乗りの小型電気自動車を製作した。この小型電気自動車はシャシーをアルミ製梯子で製作し、駆動モーターには48Vで作動するホンダ製インホイールモーターを1機搭載した。また、この小型電気自動車はエコランレースである「高知エコパワーレース」に出場するために開発したものであるため一般公道では走行することができない。

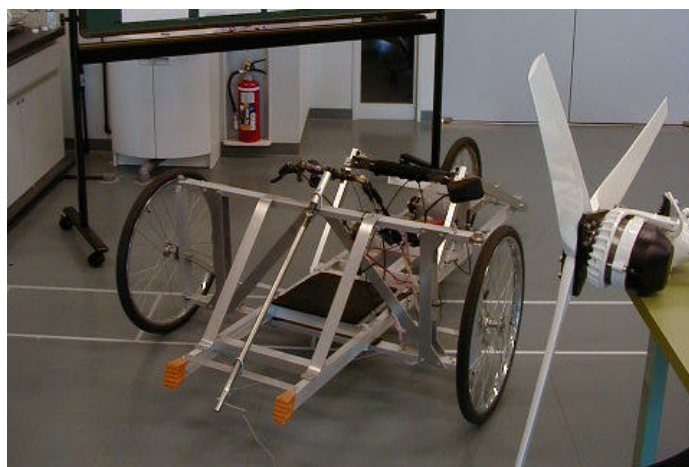


図.1 最初の小型電気自動車

98年度には「四国EVラリーフェスティバル'98」に出場することを目的に軽乗用車を電気自動車に改造した。「四国EVラリーフェスティバル」は、四国の一般公道を舞台に開催されるラリーイベントで1998年を第一回として、以降毎年8月に開催されている。この電気自動車は軽乗用車の内燃機関をモーター、バッテリー、コントローラーとコンバートすることによって電気自動車に改造した。EVラリーには3台の電気自動車を後期日程に出場させ3台とも完走することができた。電気自動車及びラリーの様子を図.2、図.3に示す。そして2000年度には「四国EVラリーフェスティバル2000」に出場することを目的に新たに小型電気自動車を開発することにした。今回の小型電気自動車はより実用性を増すために公道での走行を前提に設計・製作を行い、なおかつ半自動運転化も視野に入れて開発することにした。



図. 2 電気自動車



図. 3 ラリー風景

また卒業研究においては小型電気自動車の改良も含め、ITSの一環として小型電気自動車の半自動運転化や有限要素法によるフレームの解析に取り組むことにした。

2.2. 実用化の目標

小型電気自動車の当初の目標は「四国EVラリーフェスティバル2000」に出場することであり、そのためには一般公道で走行可能な実用車として小型電気自動車を開発・設計を行わなければならない。したがって小型電気自動車を一般公道で使用するために、まずナンバーを取得しなければならない。今回は小型電気自動車を第一種原動機付自転車として製作して登録することにした。第一種原動機付自転車の特徴として重量税・取得税が不要で車検・車庫証明が不要である点が挙げられる。そのため登録が容易であり維持費が安価であるというメリットから第一種原付自転車を選択した。またデメリットとして一人乗りに限られることや法定速度が時速30kmに限られるといった点が挙げられる。

次に、従来の電気自動車の問題点としてバッテリーに蓄積した電気エネルギーで走行す

る方式では走行距離が短いという問題点がある。これはバッテリーの重量やサイズの問題点によりバッテリーの搭載量が限られるためである。したがって、より実用的な電気自動車の運用方法を模索した結果、小型電気自動車を短距離輸送用のコンピューターとして設計及び製作を行なうことを目標にした。

以上の条件から、大きさや搭乗人数及び航続距離が決まり、第一種小型電気自動車の一人乗りの小型電気自動車を製作することにした。そして卒業研究ではITSの一環として小型電気自動車の半自動運転化に取り組むことにした。これは駆動装置やセンサーと連携して制御を行なうことによって、より安全で簡単な運転システムを開発するためである。これによって高齢者や障害者の運転に対する負担を軽減したり事故を未然に防いだりすることが目標である。今回は、半自動運転化の基礎研究として自動車の運転に必要な操作の内、ハンドル操作とアクセル操作をジョイスティックで操作できるように改造する試みを行なうことを目標にした。

2.3. 研究テーマ

本研究の内容は小型電気自動車の設計・製作を行い、半自動運転化を行なうまでであるが、研究の段階においてそれぞれ研究テーマを設けることにした。最初に小型電気自動車の設計・製作を研究テーマにした。次に製作した車両をさらに発展させるために半自動運転化と、フレームの応力解析を研究テーマにした。フレームの応力解析の内容は車両重量が予想よりも大幅に増加してしまったため、有限要素法による解析を行なうことによってフレームの軽量化や構造の最適化を検討することである。また、半自動運転化に際してステアリング機構の開発・制御とブレーキ機構の開発・制御とを分けて行なうことにした。この二点は半自動運転化するにあたってハード面で改造を行なわなければならない。そのためこれらを主に改良することをテーマにした。以上に挙げたテーマを図.4に示す。枠で囲った範囲のテーマが、報告者が直接関わった研究テーマである。

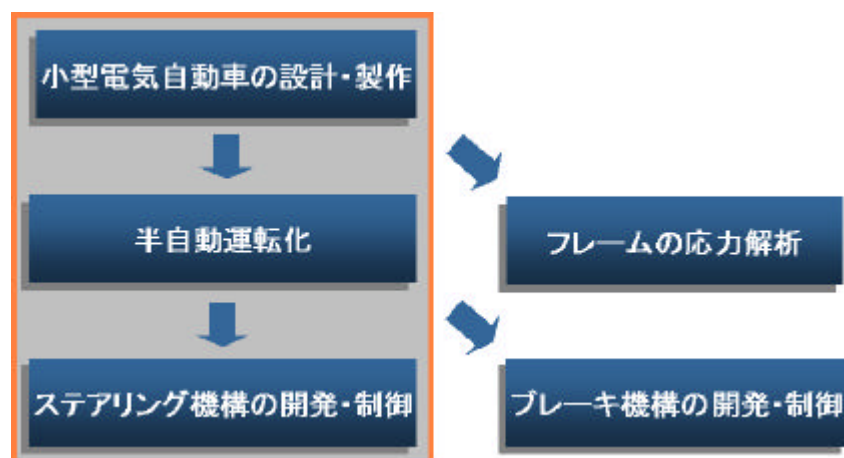


図. 4 研究テーマ

3．実験装置

3．1．小型電気自動車について

本研究では小型電気自動車をシャシーから製作するにあたってフレーム形状から検討した。直径 27.2mmの鉄パイプを使用しフレームを組んだ。サイズの主な数値は、全長 1650 mm、全幅 1200mm、全高 1600mmで総重量は約 350 k g である。またサスペンション機構は制動時の車両の安定性が高いダブルウィッシュボーンを前輪に採用し、後輪にはコンパクトなフルトレーリングアームを採用した。原動機にはホンダ製インホイールモーターを 2 機搭載し、シャフトを介して後輪を直接駆動させる方式である。ホンダ製インホイールモーターを採用した理由はコントローラーが内蔵されており丈夫で制御が容易である点からである。また主バッテリーは 12 V 密閉型鉛電池を 4 個直列に車体中央下部に搭載し、H8 マイクロコンピューターやライトなどの補記類を駆動させるために 12 V シール型鉛蓄電池を車体全部に 1 個搭載している。また、ステアリング機構はラックアンドピニオン機構を採用した。今回は寶角ギヤ - 製のラックアンドピニオンギヤ - を使用し、ユニバーサルジョイントを介して前輪を操舵している。また制動装置には前輪に油圧式ドラムブレーキを採用し、運転席に設置したブレーキペダルの入力を、マスターシリンダーを介して油圧をコントロールしている。また後輪にはモーターの回生ブレーキによって制動力がもたらされる。

また、今回の実験にあたって半自動運転化するにあたってハンドルとアクセルをジョイスティックで操作できるように機構の改造及び制御を行った。小型電気自動車の全体像を図.5 に、主な仕様を表.1 に記載する。



図. 5 小型電気自動車の全体像

寸法・重量	全長	1650mm
	全幅	1100mm
	全高	1600mm
	ホイールベース	1250mm
	トレッド・前	1100mm
	トレッド・後	1000mm
	車両重量	約 200kg
モーター	名称	DDW-4060 Type A
	型式	GMAD
	形式	D C ブラシレス
	定格出力	0.6kw
	定格トルク	7.5N・m
	定格回転数	800rpm
	無負荷最高回転数	1200rpm
	使用個数	2 基
バッテリー	重量	11kg
	形式	SB-D26R
	容量	50AH/5 時間率
	重量	18kg
	使用個数	4 個直列
	ステアリング形式	ラックアンドピニオン
	ブレーキ形式・前	ドラム
	ブレーキ形式・後	モーターによる回生ブレーキ
	駐車ブレーキ	機械式前輪 2 制動
	サスペンション形式・前	ダブルウィッシュボーン
	サスペンション形式・後	フルトレーリングアーム
	タイヤ・前	3.5-10
	タイヤ・後	3.0-10

表. 1 小型電気自動車の仕様

3.2. ホンダ製インホイールモーター

小型電気自動車の原動機は図. 6 に示すホンダ製インホイールモーター DDW-4060 Type A を 2 機使用した。このモーターはブラシレス DC モーターで定格電圧 24V 駆動である。本研究では走行実験により重量過多によるトルク不足が判明し、ギア比を Type A の 1:1 から Type D の 1:4 に変更した。

3.3. マイクロコンピューター

駆動装置の制御には図. 7 に示す日立製 H8 マイクロコンピューターを使用した。本研究では秋月電子通商製のマイコンボードとセットで使用した。原動機であるホンダ製インホ

イールモーターと、ステアリング機構に取り付けたサーボモーターを制御するために 2 機使用した。

3.4. サーボモーター

前輪のステアリング機構を半自動運転化するために、図. 8 に示すサーボモーターをラックアンドピニオンギアに図. 9 に示すオルダム形カップリングを介して取り付けた。本研究ではサーボモーターをオリエンタルモーター社製 HBLM540K - GN にギアヘッドを取り付けたものを採用した。このモーターはブラシレス DC モーターでモータードライバーとセットになっており、ギアヘッドを取り付けることによって 1:7.5 に減速してあり 1.2N・m のトルクを発生する。



図. 6 ホンダ製インホイールモーター

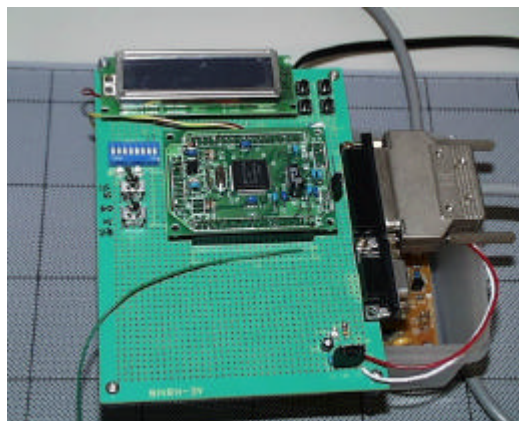


図. 7 H8 マイコンボード



図. 8 サーボモーター



図. 9 オルダム形カップリング

4．実験方法

4．1．実験装置の選定

実験装置の検討にあたって、小型電気自動車に流用できる部品が限られている点が問題になった。そのため普通乗用車や原動機付自転車に使用される部品で流用できる部品を調査することから始めた。また、サスペンションアームなど流用できない部品があれば新たに図. 1 0 に示すように設計図をかいて製作所で加工してもらった。

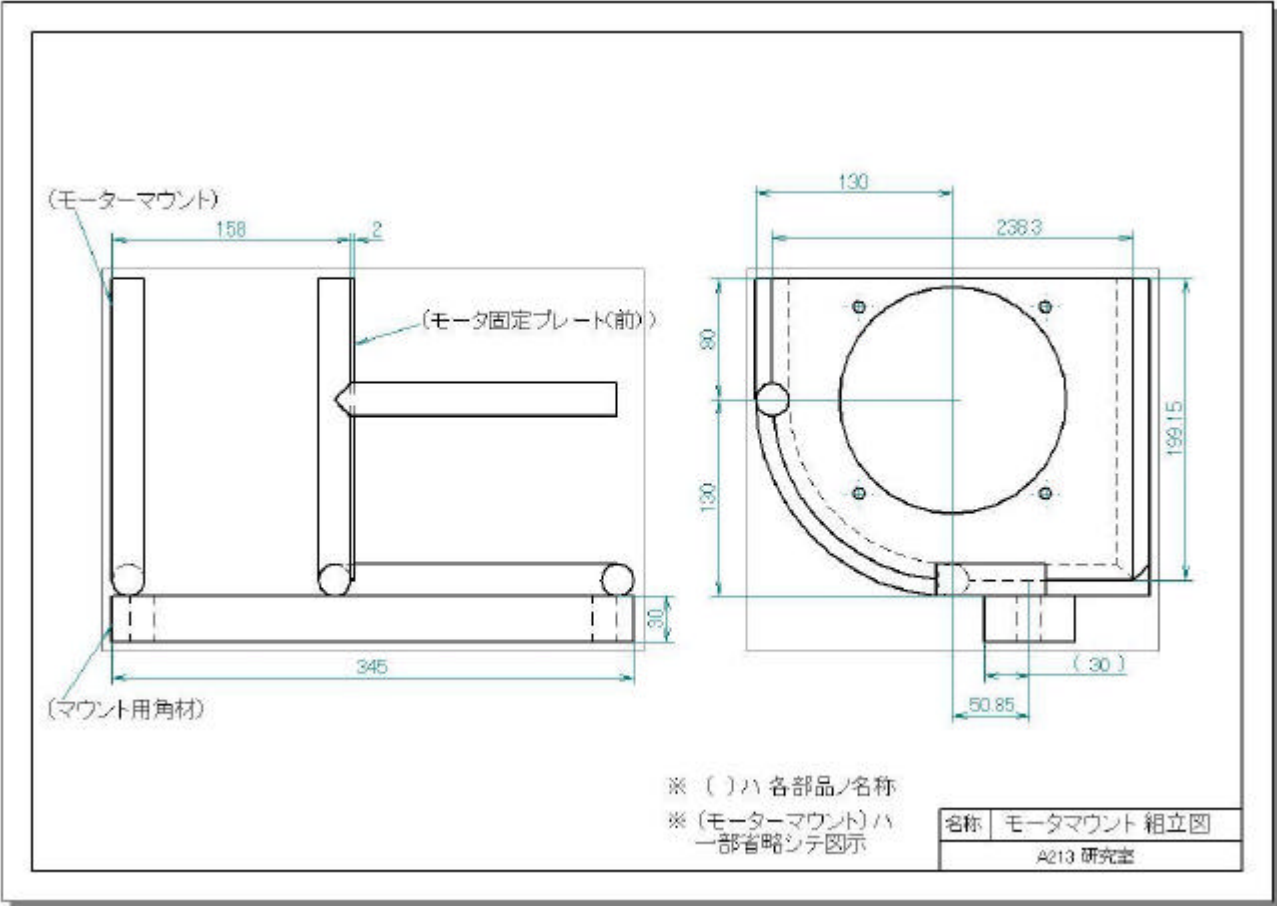


図. 1 0 設計図

4.2. 小型電気自動車の設計・製作

小型電気自動車の設計・製作をするにあたって、グループ内でアイデアを出し合って、図. 1. 1 に示すような 3DCG をモデリングで作成しグループの一員がイメージの共有化できるようにした。3DCG のモデルを基にグループで議論を重ねることによって、個々がより具体的なイメージを持って設計を行った。その結果を基に図. 1. 2 に示すように 3DCAD で図面を書いて製造所に加工の発注をした。

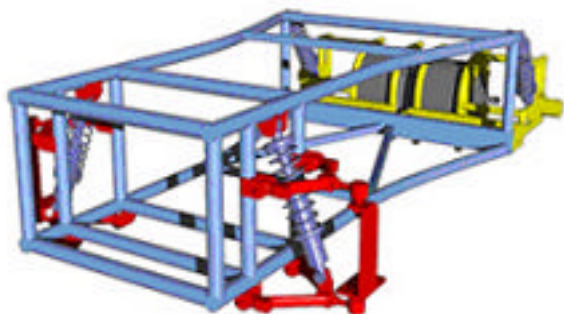


図. 1. 1 3DCG によるモデリング

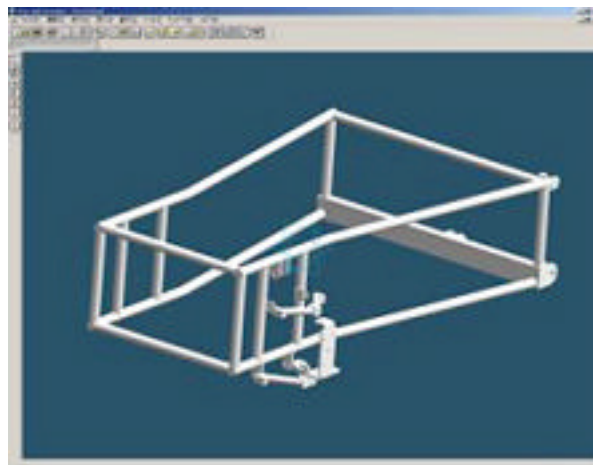


図. 1. 2 3DCAD によるモデリング

4.3. マイクロコンピューターを使用しての制御

C 言語でプログラムを組み、H 8 マイコンで後輪のモーターを制御した。また前輪のステアリングをサーボモーターで行えるように駆動装置を設計及び改造した。

4.4. 走行実験

最後に走行実験を行って、動作確認や問題点の抽出及び改善を行った。

5．駆動制御

5．1．後輪の駆動制御

後輪周辺の構造は、図. 1 3 に示すようにサスペンションを兼ねたの左右のトレーリングアーム上に、ホンダ製インホイールモーターが装着されている。モーターからの動力はシャフトを介して直接車輪に伝えられている。したがって、旋回時に内輪差が生じる問題が発生する。この問題を解消するために旋回時における外輪と内輪の回転数の比を計算した。車両のトレッド幅(タイヤの中央から反対側のタイヤの中央までの距離)を 1.0 m とした場合、外輪と内輪でどれだけの回転差があるかを考えた。図. 1 4 に示すグラフは旋回半径に対して内輪は何パーセントの回転数で回ればよいかという計算結果を示したものである。このグラフから回転数の比が 90 % 付近で大幅に外輪の旋回半径が切り替わることがわかった。よってハンドルの切れ角に応じて “ 100 % ” “ 90 % ” の 2 段階に変化させる制御を行った。

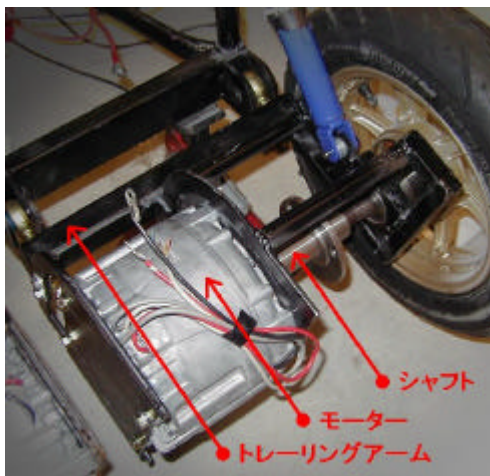


図. 1 3 車両後部の構造

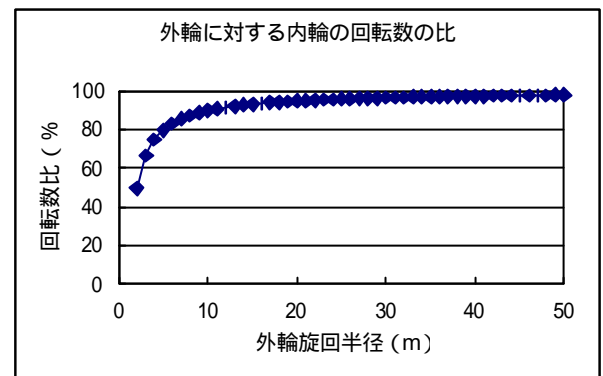


図. 1 4 外輪に対する内輪の回転数の比

5.2. ステアリング機構の駆動制御

2000 年 8 月当初の小型電気自動車の製作時にはハンドルからの入力、ユニバーサルシャフトを介してラックアンドピニオンギアに伝える構造になっていた。しかし半自動運転化にあたって、図. 15 に示すようにハンドルの代わりにラックアンドピニオンにサーボモーターを直接装着することにした。

操作にはジョイスティックを使用することにした。ラックアンドピニオンからハンドルの切れ角をポテンシオメーターで読み取り、その切れ角をフィードバックしてサーボモーターに入力した。また、前・後進の動きもジョイスティックで操作できるように改造した。よって前・後進と合わせ旋回動作もジョイスティックで操作できるようになった。このシステムの様子をブロックダイアグラムにあらわした。図. 16 に示す。また実験装置の様子を図. 17 に示す

目標であるがブレーキ装置や各種センサーと連携させて制御する実験を行いたい。

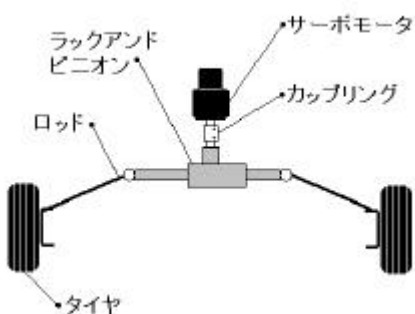


図. 15 ステアリング周辺の構造図

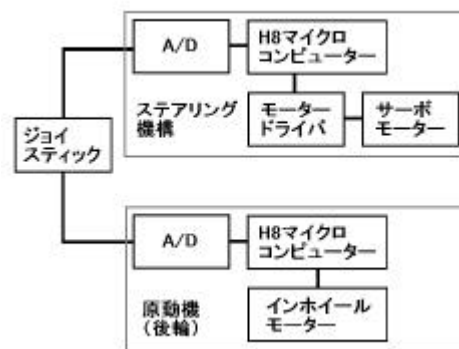


図. 16 ブロックダイアグラム

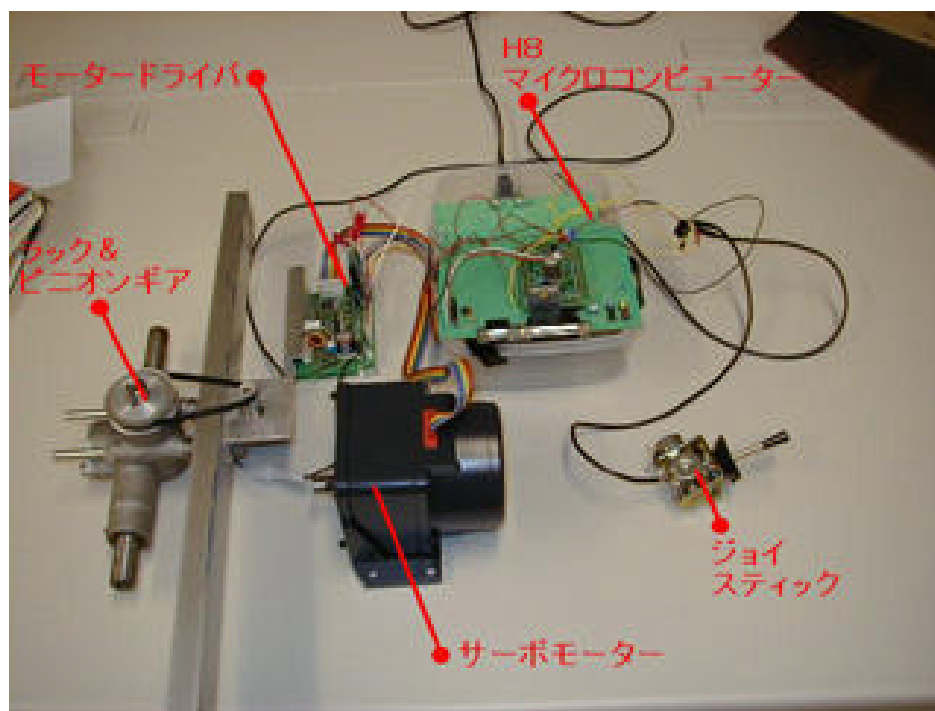


図. 17 実験装置周辺図

6．走行実験及び改善点

小型電気自動車が完成した後に走行実験をして動作確認を行った。走行実験によって多くの問題点が抽出され改善することができた。

- 1．ハンドルの回転角を検出するためのポテンシオメーターが、ユニバーサルシャフトの不具合により発生した機械的な誤差が発生した。その誤差をプログラム上で、設定を理論値よりも幅をとることによって改善した。
- 2．ポテンシオメーターに取り付けたバネの強度が不足し機械的な誤差が生じた。それを解消するために図. 18のようなポテンシオメーターを使用することで強度が不足しないように改善した。
- 3．車両の重量過多によって、モーターの出力が不足した。これを改善するためにギア比を1：1から1：4に変更した。
- 4．ステアリング機構の駆動制御を行なう際にサーボモーターのドライバが破損してしまった。破損原因は内装されたヒューズがとんでしまったためで、ヒューズを外装することで改善した。

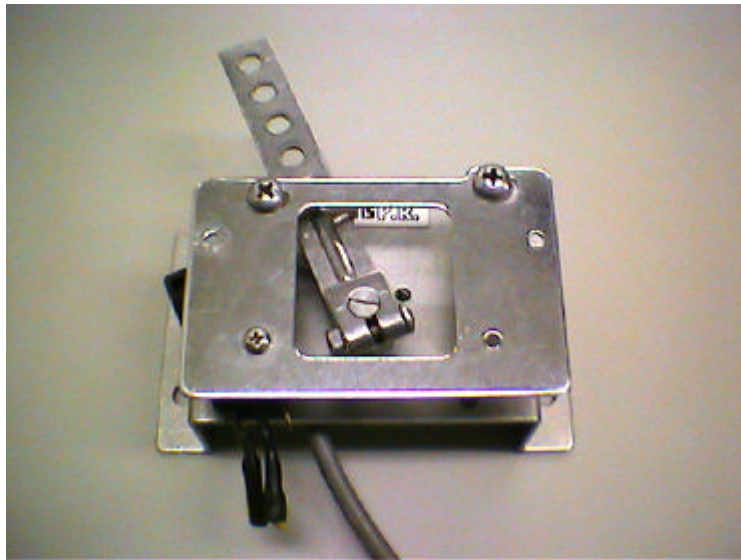


図. 18 改良したポテンシオメーター

7．実用化までの問題点・課題

今回の研究では、小型電気自動車を設計・製作及び半自動運転化を行い走行実験による動作確認が出来た。その結果、小型電気自動車を実用化へ導くためには多くの問題点を改善しなければならないことがわかった。改善しなければならない主な問題点及び課題を挙げる。

1．まず実験方法において走行性能を定量化することが挙げられる。現在は電気自動車の走行実験を行なって動作確認を行なうだけで、具体的に走行性能を定量化できていないのが現状である。したがって走行性能を定量化する方法を考えなければならない。また走行性能を定量化できれば、問題点がより明確になり新たな問題点も抽出されると予想できる。

2．ソフト面における問題点を挙げると、後輪のモーターとステアリング機構に取り付けたサーボモーターを別々の回路で制御している点が挙げられる。これはマイコンボードの A/D ポートが限られているため、この点を改良できれば一つのマイコンで制御出来るようになり簡略化できる。また、将来に向けてより高度な半自動運転化を目指すために各駆動装置及びセンサーと連携して制御する必要性が挙げられる。

3．ハード面における問題点を挙げると、現在の小型電気自動車はラックアンドピニオンにサーボモーターを直接取り付けである。そのため半自動運転時にはハンドルが使用できない。安全性の面から手動でも操作出来るよう構造を改善したい。

4．小型電気自動車の重量が当初の目標より増加したために、走行性能や燃費が悪く実用化のに関して一番の障害になっている。今回の研究で行なったフレームの応力解析により形状の見直しや部品の改善を行って軽量化したい。

8．結言

本研究では、小型電気自動車を設計・製作から素行実験による動作確認をおこない貴重な経験をえることができた。実際に走行実験を行なうと予想していなかった問題点が数多く出てきたので、走行実験を重ねることがいかに重要であるかわかった。また設計図を書いて製造者と打ち合わせを行ったが、未熟な図面であるため意図が伝わらなかったり間違いがあったりした。したがって、わかり易く製図する技術の必要性を感じた。最後に、詳細な計画性が欠如していたために期待した性能を発揮することができなかった。大まかな計画ではなく状況に応じて詳細な計画性を立てる必要性がわかった。

謝辞

終わりにのぞみ、本研究において補助金を頂いた高知県庁産業技術振興課、ショックアブソーバーを提供して頂いた株式会社デイトナ、バッテリーを提供して頂いた日本電池株式会社に深く御礼申し上げます。

また、我々の稚拙な図面から部品を製作して頂いた福留工業、坂本鉄工の関係者各位に感謝の意を捧げます。

学会発表

1．戒能 徹、坂本東男、澤田達郎、大西仙晃

小型電気自動車の駆動制御

日本機械学会中国四国支部講演会、2001 年 3 月、発表予定

付録 1 に概要を記載

2．澤田達郎、坂本東男、戒能 徹、大西仙晃

小型電気自動車の設計・製作

日本機械学会中国四国支部講演会、2001 年 3 月、発表予定

付録 2 に概要を記載

3．大西仙晃、坂本東男、戒能 徹、内野喬誌

小型電気自動車のブレーキ制御

日本機械学会中国四国支部講演会、2001 年 3 月、発表予定

付録 3 に概要を記載

4．Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki, Onishi, Toru Kaino, Tatsuro

Sawata, and Masaaki Yokoyama, Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle, ASME Conference, Sept. 2001, to be presented.

付録 4 に概要を記載

参考文献

[1] 小松 康一、自動操縦車両の制御システムに関する研究、Proceedings of the 3rd Tokyo AVCS Conference、(1998) pp.59 - 62

[2] 社団法人交通工学研究会編、インテリジェント交通システム、(1997)

小型電気自動車の駆動制御

戒能 徹（高知工科大学） 正 坂本東男（高知工科大学）

澤田達郎（高知工科大学） 大西仙晃（高知工科大学）

1. 緒言

現在主流である化石燃料を使用する自動車は大気中の二酸化炭素濃度を高める要因となり、深刻な環境問題を引き起こしている。したがって、排気ガス出さない電気自動車の普及が急がれている。しかし、現時点の電気自動車は航続距離に問題があるため、近距離輸送用のコミューターとしての役割が期待されている。我々はコミューターとしての使用を目的として、図1に示す一人乗りの小型電気自動車を製作した。

また、来たるべく高齢化社会に対応して高齢者でも安全に運転出来るシステムを開発する必要がある。そのために小型電気自動車をベースに駆動装置を制御して半自動運転化することにより、安全な運転システムを開発することを目標にした。



図1．小型電気自動車

2. 製作した小型電気自動車

小型電気自動車の後輪は左右のトレーリングアームに各1個のモータを装着している。モータの動力はシャフトを介して直接、車輪を駆動させる方式をとっている。前輪のステアリング機構はラックアンドピニオンギア機構を採用している。ブレーキは前輪ドラム、後輪に回生ブレーキを使用している。

3. 半自動運転の実験内容

小型電気自動車の半自動運転化にあたって、前進後進、右折左折、停止の各動作を人に代わってマイコンで制御することにした。右折左折の動作は前進後進を伴って行われる。したがって前進後進の速度と連携した制御が必要になる。最初から、それらの動作をマイコンで制御することは困難と思われるので、ジョイスティックを使用して各駆動装置を制御することを当初の目標とした。

従来、右折あるいは左折をハンドルで操作するのに

替えて、サーボモータをラックアンドピニオン機構に取り付ける改造を行った。図2に示す。

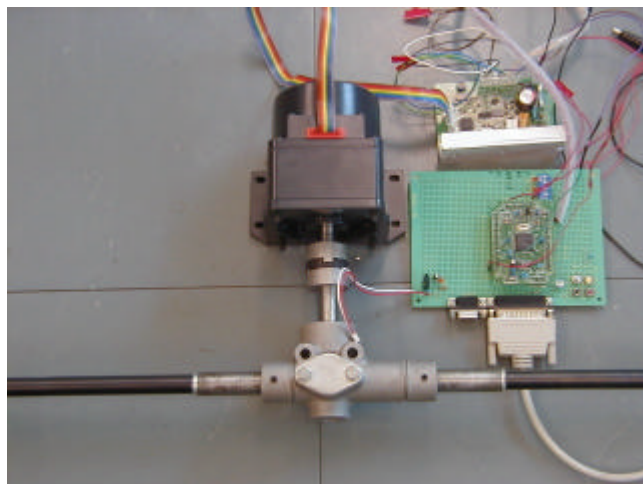


図2．サーボモータ、ラックアンドピニオン機構及びマイコン

車両が旋回する際に外輪と内輪に回転数の差が生じるために左右のモータの回転数を制御する必要がある。そのために外輪と内輪の回転数にどれだけの差があるか計算した。図3に結果を示す。そしてラックアンドピニオン機構の回転数をセンサーによって検知することにより、前輪の切れ角に応じて後輪の内輪と外輪に回転数を個別に制御を行った。

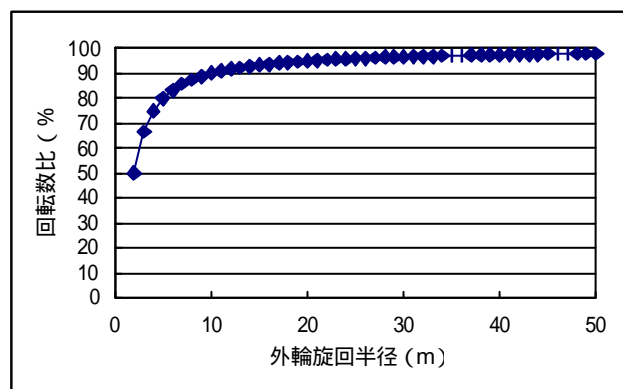


図3．外輪に対する内輪の回転数の比

停止の動作に関しては、ブレーキペダルにエアシリンダを取り付ける改造を行った。

4. 結言

この研究はITSに関連し、障害物をセンサーで検知し、安全に障害物を回避あるいは停止する実験を行っている。サーボモータ、エアシリンダ、マイコンを実車に組み込み実験中である。

小型電気自動車の設計・製作

澤田達郎（高知工科大） 正 坂本東男（高知工科大）
戒能徹 （高知工科大） 横山應祥（高知工科大）

1. 緒言

環境面や騒音などに対する観点から電気自動車が注目され、自動車メーカーから電気自動車や、内燃機関とのハイブリッド自動車などが発表・発売されている。しかしながら、電気自動車の技術的・環境的課題として、航続距離の短さ、充電時間の長さ、バッテリーの重量、専用バッテリーの価格、充電場所の不足などが挙げられ、内燃機関を搭載した自動車の代替にはなっていないように思われる。

我々は上記の課題を考え、公道を走行でき、短距離移動用として使用する小型の電気自動車の設計・製作を検討した。規格は原動機付四輪自転車に適用でき、バッテリーも比較的安価な普通乗用車（RV車用密閉型）のものをを使用した。

短距離移動用としたのは、長距離走行を行い、深放電を繰り返し行くと寿命が短くなる、走行中一定の電圧で最後まで使用することが出来ない、などの特性を持つ普通自動車用バッテリーを使用することや、前述した電気自動車の課題などを踏まえて決定した。

2. 小型電気自動車設計概念

(1) 車体サイズ目標値の設定

短距離移動用という性格上、移動先で電気自動車が走行不能になる場合や、遠距離を運搬しなければいけないことも考えられる。そのような事態にも対応するため、車体の全長・全幅・全高の目標値を軽トラックの荷台に余裕をもって乗るように、それぞれ、1.6m・1m・1.6mとした。

(2) サスペンション形式・フレーム形状の決定

サスペンション形式はフロントにダブルウィッシュボーン式の、リアにフルトレーリングアーム式の4輪独立懸架を採用した。その形式に対応するため、フレームの幅は、前部がアームを長く確保するために狭く、後部が剛性を高めるために広いた形形状となった。またメインフレームは、剛性向上とバッテリー等重量物の搭載スペース確保のため2重フレームとなっている。

(3) 3D-CGによるフレーム及びサスペンションの原案作成

イメージを表わすため、3D-CGソフトを使用してモデルを作成した。画像として表示させることにより、チーム内でのより具体的な形状把握ができ、設計相談や製作が円滑に行えた。図.1にCGモデルを示す。

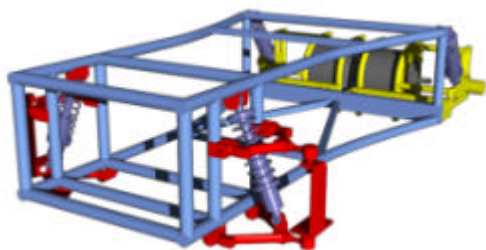


図.1 3D-CGにより作成されたフレームのモデル

(4) 3D-CADによるモデルと図面の作成

3D-CGによるモデルを参考に3D-CADで正確なモデルを製作した。このデータを2D-CADデータに変換し、製作の発注

に使用する製図とした。

3. 小型電気自動車の特徴

(1) モーター及びモーター取り付け部

内部で減速されたインホイールモーターを後部サスペンションのアーム上に1基ずつ搭載した。モーター軸と車軸はカップリングを介し直結されている。

(2) ブレーキ機構

前輪は油圧式ドラムブレーキ、後輪はモーターによる回生ブレーキにより制動される。前輪ブレーキはワイヤーによるサイドブレーキも兼ねている。ペダル等のユニットは軽自動車のものを使用し、真空ポンプによって倍力装置も作動する。

(3) ステアリング機構

ラックアンドピニオン式を用いた。また、ステアリングホイールには普通乗用車のそれを使用している。

(4) 制御

マイクロコンピュータを使用し、後輪に取り付けた2基のモーターの回転数を、ハンドルの切れ角に応じて差をつけている。（現在は2段階）

4. 小型電気自動車についての今後の課題

図.2の写真が現在までに出来ている小型電気自動車である。我々の機械製図に対する知識の足りない部分や、納期の関係から、最初の設計から何箇所か変更された部分がある。



図.2 小型電気自動車

現在モーターの出力が足りないためモーター内臓のギアで減速を行っているが、そのギア比は1:3.985と大きい。これはこのギア比しか選択肢が無かったためである。この状態ではスピードが15km/h未満しか出ないと考えられ、実用化していくためには不十分である。そのため今後はモーター取り付け部のユニットを現在のモーター軸・車軸の直結方式をやめ、ギアやプーリーを用いて外部で減速できるユニットに設計変更し、再制作する必要がある。また、各部の駆動ロスも大きく、それらも改善が求められる。

今後は実走行を行い、各部の技術課題の解決、及び実用性の向上を行っていききたい。

5. 結言

今後、制作した小型電気自動車の性能向上や自動運転技術を意識した勉強していきたい。

小型電気自動車のブレーキ制御

大西 仙晃（高知工科大学） 正 坂本 東男（高知工科大学）
戒野 徹（高知工科大学） 内野 喬誌（高知工科大学）

1．緒言

近年、地球の温暖化や酸性雨などの環境問題が取り上げられている。温暖化の解決策として排出ガスを出さないクリーンな自動車として電気自動車や、渋滞の緩和、利便性の向上を目的とした ITS (Intelligent Transport Systems) などの自動運転技術が注目されている。しかしながら、自動運転技術は高速道路を主な目的として開発が行われているため、日常生活で活用されることは少ないように思える。そこで、私生活で活用できるような自動運転技術を検討するため小型の電気自動車を製作し、簡単な自動運転を行うことにした。自動運転では主にエアシリンダを使ったドラムブレーキと回生ブレーキを用いたブレーキシステムを製作する。

2．製作したブレーキシステム



図 1 小型電気自動車



図 2 ドラムブレーキ

図 1 に製作した小型電気自動車を示す。ブレーキシステムは、図 2 に示すようにフロントに油圧式のドラムブレーキと、図 3 に示すリヤのモータによる回生ブレーキを設けた。また、ドラムブレーキには図 4 に示す軽四輪自動車のブレーキブースターとマスターシリンダを使用し、真空ポンプを使用した倍力装置も併用した。

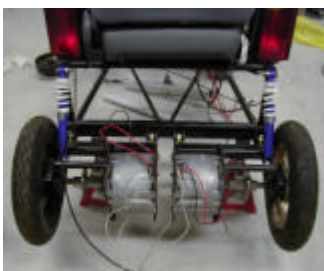


図 3 回生ブレーキ



図 4 ブレーキブースター

自動運転のためのブレーキシステムは、ペダルを踏む動作の代わりに、エアシリンダを使用し、マスターシリンダのプッシュロッドを押し出すようにした。ブレーキが作動する仕組みは、前のバンパーに図 5 に示す光電センサを取り付け、センサーが前方の障害物を検知すると、図 6 に示す電磁弁が開き、エアタンクの圧縮された空気がエアシリンダに送られブレーキが作動する仕組みにした。



図 5 光電センサー



図 6 電磁弁

3．製作したブレーキの考察

人が乗って操作した時の通常のブレーキは、違和感なく普通乗用車と同じ感覚で扱えた。また、電気自動車のためモータによる回生ブレーキが強く効くため、下り坂などでも大きな加速度は発生せず、操作性や安全面などを考えると有効に使える。

自動運転時では、エアシリンダを使用したため、実際にブレーキが効き始めるまでのタイムラグが心配されたが、光電センサーの検出距離を任意で設定できるため、タイムラグの時間を考慮して設定すれば問題なく使えた。しかし、エアシリンダが一度作動すると、ピストンロッドが元の位置に戻らなかった、これはブレーキブースターの中にあるバネが、柔らかすぎたためだと考えられる。問題の解決策としては、3ポートの電磁弁を使用し、空気を抜く弁を設けることが考えられる。また、エアシリンダの仕様をやめ、ガソリン自動車のABSシステムのモータ部分の仕様や、油圧式の電動パワステアリングを応用することが考えられる、これはモータで油圧を発生させる仕組みなので、エアシリンダのようなタイムラグが少ないことも有効に使える点だと考えられる。

4．結言

人が乗って操作した場合のブレーキシステムとしては十分に使用できた。自動運転時では、エアシリンダが一度作動すると、ピストンロッドが元の位置に戻らないため、今後改良を加える

Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki Onishi, Toru Kaino, Tatsuro Sawada, and Masaaki Yokoyama

Dept. of Intelligent Mech. Sys. Engr.

Kochi University of Technology

Tosayamada-cho, Kochi 782-8502, Japan

ABSTRACT

This paper describes an engineering education attempt in a synthesis class during the 4th year. Since the Kochi University of Technology was inaugurated in April, 1997, four years of engineering education trials have passed. In 1997, 3 student teams participated in an eco-power race held in Kochi, Japan, with hand-made ecological vehicles. In the summer, 1998, three teams participated in the Shikoku Electric Vehicle Rally using light weight vehicles converted into electric cars. The synthesis class was performed based on such past engineering activities. In order to provide an active learning opportunity, a synthetic learning environment is needed rather than just teaching in classes. Manufacturing is also considered to be of great importance for mechanical engineering as well as the basic sciences such as mathematics and physics. As a capstone learning course, a team of five students in the laboratory tried to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle.

INTRODUCTION

The Kochi University of Technology, shown in Figure 1, was opened in April, 1997. The university has been trying new engineering education such as first year seminars using real products¹⁾, computer assisted English education²⁾³⁾, and so on. In this report, an activity for a synthesis education class is described.

Two extracurricular (out of class and no credit) activities⁴⁾ were conducted. The first one is the Eco-power Race. In November, 1997, the Kochi Eco-power Race organized by Toyota Vista Kochi was held in Kochi, and three teams from the Kochi University of Technology entered the race. The second is the Electric Vehicle Rally. In August, 1998, the Shikoku Electric Vehicle Rally, organized by a committee of high school teachers and university educators, was conducted in Shikoku, the smallest main island of Japan. The rally is the first one in Japan for a car rally on public roads. Three teams from the Kochi University of Technology joined the race. The synthesis education class was performed in the 4th year based on the experiences from these activities. The team of five students selected a design theme and manufactured a hand-made small-size electric vehicle.

Electric or hybrid vehicles are being developed and sold. However, electric vehicles at the present are not perfect. They can not run very far, they need to charge which requires a long time, batteries are heavy and expensive, and so on. However, in the near future, fuel cell vehicles will become commercialized. This will make gasoline-powered vehicles less common. Under such a circumstance, five students from the Kochi University of Technology started to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle as a capstone project course in the 4th year. They selected a small-sized one instead of a conventional one, and aimed to produce a hand-made vehicle for short-range running..



Figure 1 Kochi University of Technology Opened in 1997

DESIGN CONCEPT

The first of the main design concepts is a small-sized vehicle, whose vehicle category is equivalent to the one for the engine-powered three or four wheel bicycles in Japan. The size was determined as being able to carry the vehicle in a light weight truck for a long drive. The length, height, and width were 1.6m x1.0m x1.6m.

The second main design concept is the frame design. Applying a double wishbone type suspension for the front and full trailing-arm type suspension for the rear, the frame configuration was studied. Using 3-dimensional computer graphics (3D-CG), the frame configuration was determined. Figure 2 shows the graphics for the mounting suspensions and two motors. The team recognized that the 3D-CG image was effective for the group to determine the target the team will aim.

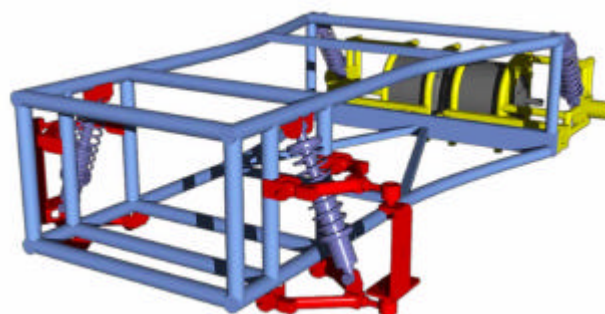


Figure 2 Frame Model by 3D-CG (Computer Graphics)

The third main design concept is to determine the motor. The in-wheel motor made by Honda for electric vehicles was applied, because the motor has a controller inside, and output data can be used for control. Although rather high power motors of 14kW for electric

vehicles are in the laboratory, the team decided to use two Honda motors of 600W, which seemed not to be enough for the vehicle. They used these motors, because they can make some devices to control the vehicle. Figure 3 shows the motor.



Figure 3 Honda In-wheel Motor

DETAIL DESIGN AND MANUFACTURE

Frame Design and Manufacture

Based on the image developed by the computer graphics, the frame design was performed by 3-dimensional computer aided design (3D-CAD). Figures 4 and 5 show the 3D-CAD graphics of the main frame and mount frame for the motors. The front part of the main frame was determined to have a width smaller than the rear one, because the wishbone arms are desired to be long enough within the planned vehicle width. The width of the rear part in the frame is set to be longer within the planned vehicle width in order to obtain a high twist rigidity.

About 30 two-dimensional drawings were made for the manufacturing.

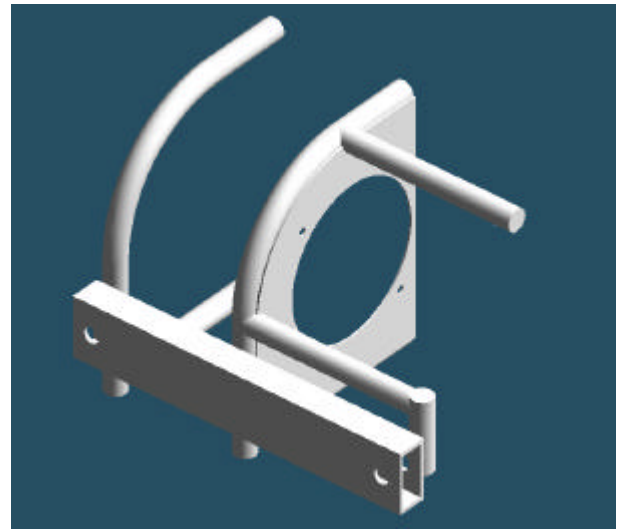


Figure 5 3D-CAD Drawing of Motor Mount Frame

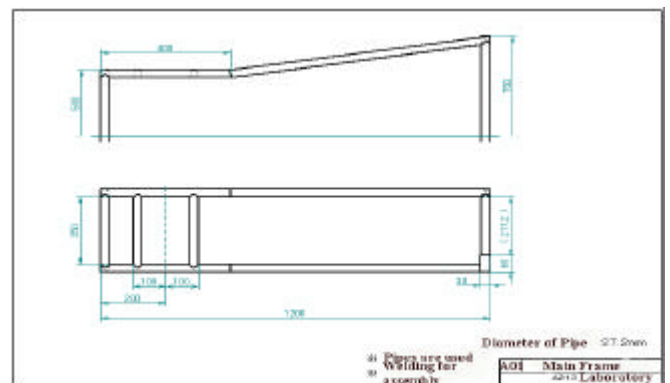


Figure 6 2D Drawing of Main Frame

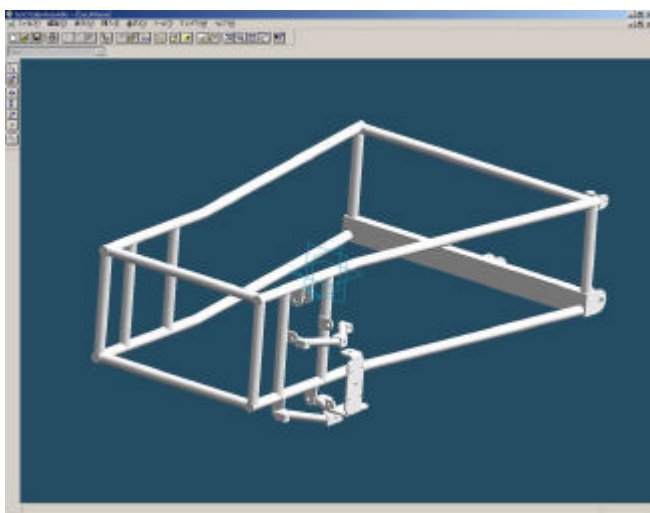


Figure 4 3D-CAD Drawing of Main Frame

Since the university is not ready to manufacture by welding, the assembly by welding was conducted at a shop near the university. The drawings were not sufficient for manufacturing due to the time constrain from design to manufacture and due to the inexperienced students' ability for drawing. Figure 6 is a drawing example. The team made 30 drawings and discussed them with people in the shop.

Front Suspension and Steering Construction

The front suspension was determined to be a double wishbone type one, because of its high rigidity, stable camber angle, and is common in conventional automobiles. Figures 7 and 8 show the suspension system.

As for the steering construction, it consists of a steering wheel (handle), shaft, gear box of the rack and pinion type, and rod. The gear box for a light weight vehicle has been commercialized, and is used for this project. Between the handle and shaft, and between the shaft and gear box, universal joints are applied for flexible angle control. At this moment, the vehicle is driven by a handle for cornering. In the future, sensor control will be studied for auto vehicle steering. In order to obtain an auto steering function, the gear box of

the rack and pinion type will be controlled by a servo-motor. Figure 9 shows the gear box.



Figure 7 Front Suspension System (With a Tire)



Figure 8 Front Suspension System (Closer View)



Figure 9 Gear Box of Rack and Pinion Type

Rear Suspension and Motor Mount

The rear suspension is the full trailing arm type as shown in Figures 10 and 11. The motor is mounted on the mount frame, which can move vertically by the trailing arms. From the design concept of the rear suspension, the motor shaft and the wheel shaft was determined to be directly connected. The shafts are connected by the coupling shown in figure 12. The center of the motor shaft was intended to coincide with that of the wheel shaft. However, due to the deformation caused by welding, the center to center is not straight enough for driving. This should be modified.



Figure 10 Rear Suspension and Motor Mount



Figure 11 Rear Suspension and Motor Mount (Closer View)

Motor and Drive Control

The vehicle is powered by the two motors, which control the two rear wheels. The motor is the Honda in-wheel type, DDW-4060 Type A , and the microprocessor from Akizuki Electric Co. AKI-H8 is used for the drive control. The four signal electric wires of speed, brake, clock-wise rotation and anti-clockwise rotation, and compensated current are used for monitor and control.

The curving control is conducted by obtaining the rotational speed difference between two wheels running on the curve. Figure 12 shows the rotational speed ratio of the outer wheel and inner wheel. A simple control is planned for the first stage of vehicle control. 100% and 90% of the speed difference was decided for drive control. The speed difference control should be continuously conducted according to each curve radius. However, this project is the very first stage for control, and the simple control was used in order to initially study and then modify. Figure 13 shows the microprocessor board, and Figure 14 shows the rotational speed difference between the outer and inner wheels depending on the curve radius. The display for the drive control is then produced, and Figure 15 shows the display.

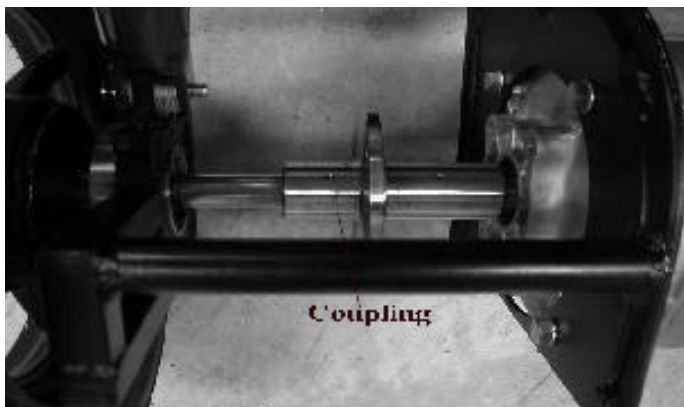


Figure 12 Coupling between Motor and Wheel Shafts

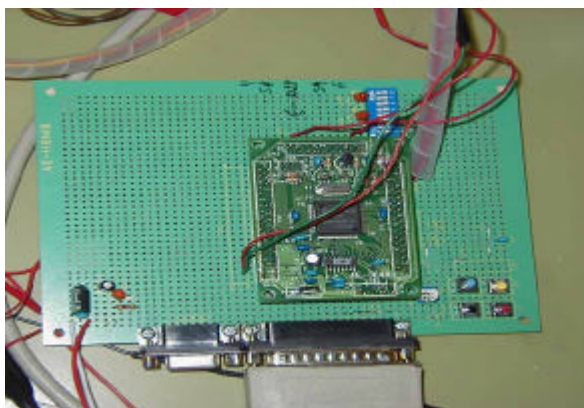


Figure 13 Micro Processor Board for Drive Control

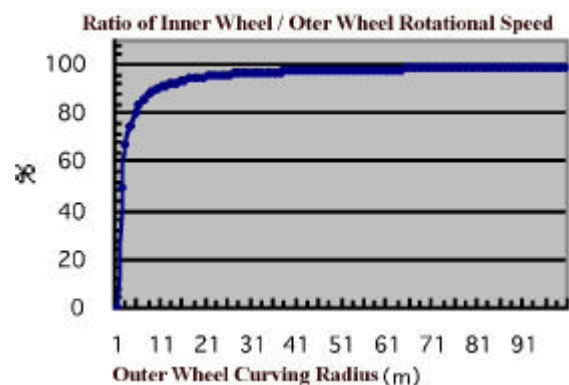


Figure 14 Rotational Speed Difference on Curves

Brake System

The brake system consists of a brake pedal, master cylinder, and drum brake on a wheel. Because the brake pedal and master cylinder for three or four wheel bicycles is not sufficient to the vehicle, a set



Figure 15 Display for Drive Control

consisting of a brake pedal and master cylinder for light weight vehicles was used. Figure 16 shows the cylinder for the pressure amplifier. In the future, the auto brake system using some sensors will be planned.



Figure 16 Brake Cylinder for Pressure Amplifier

Assembling

After the manufacture of the main and motor mount

frames, the vehicle was assembled. Figures 17 and 18 show its appearance. The vehicle was originally planned to be designed and manufactured in order for the team to participate in the 2000 Electric Vehicle Rally in Shikoku, which was held in August, 2000, in Kochi. However, the assembling was not finished by the time the rally started. The work was again started in the autumn semester, and finished by the end of Jan., 2001. However, technical matters are still to be solve, which will be studied in the next year.



Figure 17 Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle (Side View)



Figure 18 Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle (Back View)

DISCUSSION

Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

There are a variety of technical matters to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied. The original target of the weight was not clarified, and the weight after manufacture is about 350kg. The weight reduction should be studied by making a parts list with individual weights and then by seeking lighter ones. The speed depends on the motor. Since the team selected the motor by considering the ability of control and data acquisition, the selected motor was not the one which has enough power for the vehicle. If the team selects a 14kW motor, which was used for the 1998 Shikoku Electric Vehicle Rally, the power will be sufficient, unless the team care about the ability of data acquisition. The motor selection is a matter to be studied. The control of the two wheels rotational speed on curves is not complete. The team was able to make a two-stage control of 100% and 90% for the two-wheel speed difference. The control of driving and braking should also be further considered.

Capstone Design and Manufacture Project

As a project for 4th year students, the project requires manufacturing as well as design. The theme and target of the project

are in students' hands. In other word, they need to consider the theme and target by themselves. The instructor thinks that the project should not be restrained by those in the research field, since the faculty' discipline is normally in a small area of the academic research field. The project should be aimed at the real world, and manufacturing is of great importance in mechanical engineering.

The team selected the project of a hand-made small-sized electric vehicle, which needs design and manufacturing as well as knowledge of automobile technology and how to make the vehicle. The faculty played the role of supporter, and is not able to teach the automobile technology. The team needed to find the related parts and to study how to design and manufacturing by themselves. The team needed to negotiate with the people from the welding shop and parts makers.

Although the completed vehicle was not the one that the team originally wanted, since the weight, power, and control need to be modified, the team succeeded in producing a real product. The project theme was considered to be appropriate in a sense for the study for 4th year students in mechanical engineering.

CONCLUDING REMARKS

As a capstone design and manufacturing project, the team of five 4th year students were challenged to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle. The obtained results are as follows.

1. The hand-made small-sized electric vehicle was completed, although many technical matters still need to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied.
2. As a project, the team considered their theme and target. The faculty was a supporter for this project from the viewpoints of funding and suggestions. The team completed the vehicle by themselves.
3. The project theme aimed at manufacturing as well as design. In a design process, computer graphics were effective for the group discussion. Although the design detail was not sufficient for manufacturing due to students' inexperience in design ability, the team obtained experience on how to produce a product with their own drawings.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors greatly acknowledge the people who performed the welding work in the shop (Fukutome Kogyo). The authors would also like to express their sincere thanks to Professor Hiroshi Nomura for his kind guidance on electric vehicles.

The team also expresses sincere thanks for the support from the Kochi Prefecture budget of the related 'Karakuri Project'.

REFERENCES

- 1) Haruo Sakamoto, Kazuhiro Kusakawa, Jens Jorgensen, Mechanical Engineering Education for 1st Year Seminar Using Real Products, ASME, DE-Vol.102, (1999), p13-17.
- 2) David Greene. "LATCH: a syllabus design for EFL instruction in CALL" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 381-96.
- 3) Lawrie Hunter. "Text nouveau: visible structure in text presentation" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 363-79.
- 4) Haruo Sakamoto, Extracurricular Education and Experimental Course Using Electric Vehicles, ASEE 2001, to be presented.