

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・製作

澤 田 達 郎

小型電気自動車の設計・製作

概 要

澤田達郎

目標	電気自動車は普通自動車の代替になるにはまだ力不足である。今ある技術で有効なものを作るには、普通自動車と競合するような長距離も移動でき、搭乗者数も多い電気自動車よりも、1人乗り短距離移動用のコンピューターとして製作するのが良いのではないかと考えた。製作に当たって私が目標としたことは、毎年夏に四国内で行われている「四国 EV ラリーフェスティバル」に参加し、完走が出来るだけの実用性、耐久性を持たせる事である。
創意工夫点	フレーム構造やサスペンション形式などをほぼ全て自分達で考え設計した。駆動モーターにはコントローラーを内蔵しているインホイールモータを2基使用し、それぞれを個別に制御する。
実施内容	小型電気自動車の車体サイズの設定、サスペンション形式の決定、フレーム形状の決定、3次元モデルの作成、図面の作成を実施した。また、出来た部品の組み立てと制御システムの取り付けなどを行った。
今後の課題	耐久性を持たせるために太いパイプを使用してフレームを製作したが、無駄な部分が多くかなりの重量になってしまった。そのため現在のモーターでは出力が不足、モーター内部で減速を行った。しかし、減速比が1:3.985と大きく、最高回転数まで回っても14km/h未満しか出ないと考えられ公道を走行するのに十分とは言えない。そのため今後はモーター取付部の再設計、再製作を行い、また車体の軽量化も進めていく。

目 次

第 1 章 序章

- 1.1 緒言 1
- 1.2 製作のきっかけ 1

第 2 章 小型電気自動車の設計概念

- 2.1 設計の流れ
- 2.2 車体サイズの目標値の設定 3
- 2.3 サスペンション形式 4
 - 2.3.1 フロントサスペンション
 - 2.3.2 リアサスペンション
- 2.4 フレーム形状 6
- 2.5 3D-CG によるフレーム及びサスペンションモデルの作成 7
- 2.6 3D-CAD によるモデルの作成 7

第 3 章 小型電気自動車の特徴

- 3.1 モーター及びモーター取付部 9
 - 3.1.1 駆動用モーター
 - 3.1.2 モーター取付部
- 3.2 ブレーキ機構 10
 - 3.2.1 前輪ブレーキ
 - 3.2.2 後輪ブレーキ
 - 3.2.3 ブレーキユニット
- 3.3 制御 11
 - 3.3.1 駆動モーターの回転数制御

3.3.2 ブレーキ制御

第4章 終章

4.1 小型電気自動車に関する今後の課題	13
4.2 結言	13

謝辞	14
----	----

学会発表	15
------	----

参考文献	16
------	----

付録

1 フレーム図面	
2 モーター取付部図面	
3 小型電気自動車諸元表	
4 小型電気自動車の設計・製作	
5 小型電気自動車の駆動制御	
6 小型電気自動車のフレームの応力解析	

第1章

序章



図.1-1 N社 電気自動車

1.1 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、自動車メーカーなどから電気自動車や、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。図.1-1・1-2はその例である。しかしながら電気自動車の技術的・環境的問題として

- ・航続距離の短さ
- ・充電時間の長さ
- ・バッテリーの重量・積載スペース
- ・専用バッテリーの価格
- ・移動先での充電場所の不足

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、電気自動車は内燃機関を搭載した自動車と競合するよりも別の価値観で、1人乗り短距離移動用の通勤用として製作するのが良いのではないかと考えた。公道を走行するために規格は原動機付四輪自転車のそれに対応でき、バッテリーも電気自動車専用品と比べ安価な普通自動車用バッテリー（RV車用密閉型バッテリー）を使用する小型の電気自動車の設計・製作を検討した。



図.1-2 H社 ハイブリッド自動車

1.2 製作のきっかけ

我々は高知工科大学に入学して最初の年から電気自動車の製作を行っている。

1年次にはアルミのはしごを改造した3輪小型電気自動車の製作を行った。図.1-3・1-4がそれである。これは今回の小型電気自動車の製作でも用いたインホイールモータを駆動モータに使用している。車輪はチェーンによって駆動されている。「高知エコパワールース」に参加しデモンストレーションを行った。



図.1-3 3輪小型電気自動車



図.1-4 3D-CGによる3輪小型電気自動車モデル

2年次には軽4輪自動車を改造した改造電気自動車を製作した。図.1-5・1-6がそれである。これはガソリンエンジンの代わりにモーターを搭載した物で、ミッションなどは軽4輪自動車の物を使用している。車検も通りナンバーを取得しているため公道での走行を行えた。「四国EVラリーフェスティバル'98」の後期日程に参加し、徳島～高知間を走行、完走した。図.1-7はその時の写真である。



図.1-5 改造電気自動車の車検の様子



図.1-6 改造電気自動車エンジンルーム



図.1-7 四国EVラリーフェスティバル'98

これらの経験を生かし、フレーム構造・サスペンション構造・制御などをすべて自分達で考えた小型電気自動車の製作を行いたいと考えた。

また、製作する小型電気自動車は改造電気自動車同様「四国EVラリーフェスティバル」への参加も目標のひとつとしている。小型電気自動車にはそれに参加し完走するだけの実用性・耐久性を持たせたいと考えた。

第2章

小型電気自動車の設計概念

2.1 設計の流れ

図.2-1 が小型電気自動車の設計の流れである。この中で私が担当したものは太枠で囲まれている「車体サイズ目標値の設定」～「3D-CGによるフレーム及びサスペンションモデルの作成」である。以下からその詳細を述べる。

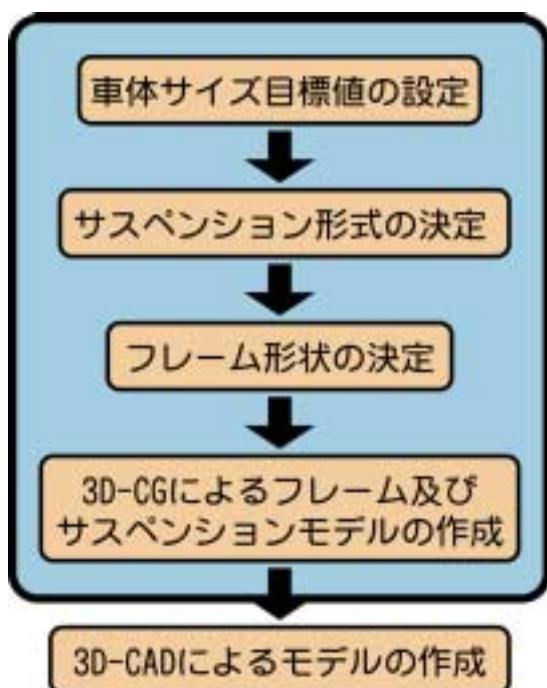


図.2-1 設計の流れ

2.2 車体サイズ目標値の設定

まず、小型電気自動車を原動機付四輪自転車として登録しナンバーを取得するために車体サイズの上限を記載しておく。「原動機付自転車は、空車状態において、長さ2.5メートル、幅1.3メートル、高さ2メートルをこえてはならない。但し、地方陸運局の許可を受け

たものにあっては、この限りではない。」とある。特に大きい物を作る必要は無いのでこの規格の中に収まるサイズで小型電気自動車は製作していく。

製作する小型電気自動車は「四国EVラリーフェスティバル」への参加を目的としている。「四国EVラリーフェスティバル」は四国内のいずれかの県で行われるもので、小型電気自動車は何らかの手段で輸送する必要がある。また、短距離移動用という特性から走行中電圧低下などの理由により走行不能になることも考えられる。我々はそれらの場合の運送手段として比較的容易にしかも安価に用意できる軽トラックの荷台が良いのではないかと考え、小型電気自動車をその荷台に余裕を持って搭載できるサイズにしたいと考えた。

以下に調べたトラックの荷台サイズを示す。

- ・A社 長さ1920mm 幅1410mm
- ・B社 長さ1920mm 幅1410mm
- ・C社 長さ1920mm 幅1410mm

この様に現在多い軽トラックの荷台サイズは長さ1920mm 幅1410mm だと言うことがわかった。しかし実際には車体形状の違いによって完全に同じ寸法にはならないはずである。小型電気自動車はこれより2周り以上小さいサイズとする。車載時は図.2-2 のようになる予定である。

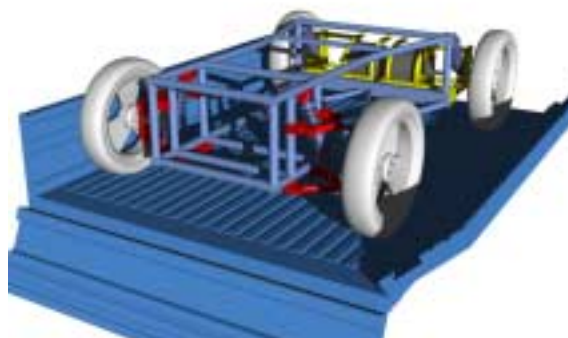


図.2-2 荷台搭載時予定図

しかし、サイズを小さくしすぎて人間の乗車スペースが確保できないのは問題である。そこで数人の腰の幅、乗車したときの足の幅を計った、その結果約500mmのフレーム幅があれば十分であると考えた。またアーム・車輪が片側250mm以内に収まると考え幅は1000mm以内に収まると考えた。

これらの理由などから小型電気自動車は車体サイズ

目標値を全長 1600mm、全幅 1000mm、全高 1600mm とした。

2.3 サスペンション形式

車体サイズを決定していくと同時にサスペンションの形式の決定も行った。サスペンションは前後 4 つの車輪が独立して動く 4 輪独立懸架式を採用している。

2.3.1 フロントサスペンション

フロントサスペンションにはダブルウィッシュボーン式を採用した。ダブルウィッシュボーン式とは図.2-3 のように上下に 2 本の横アームを用いて車輪を案内する方式である。現在市販車によく採用されている形式のひとつで、一般的な長所に

- ・設計自由度が高い
- ・剛性が高い
- ・フリクションが小さい

などがあり、短所として

- ・スペースを多く取る
- ・部品点数が多く重量・コストの面などで不利

などが挙げられる。

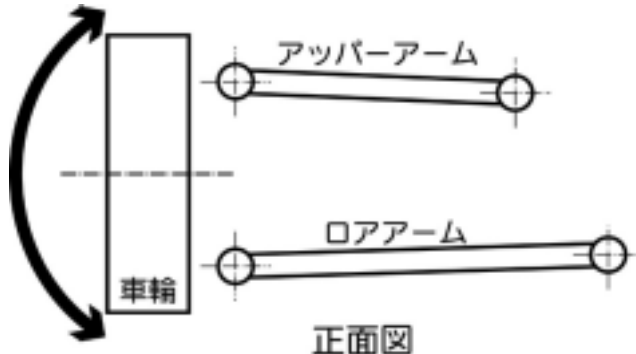


図.2-3 ダブルウィッシュボーン略図

この形式を採用した理由として

- (1) 構造が単純で理解しやすい
- (2) スクーター用ショックアブソーバーが無加工で使用できる
- (3) トレッド・キャンバー変化に対応出来るよう製作後も調節が出来る

などが挙げられる。

上下のアームは共に鉄片に鉄パイプを溶接し製作した。図.2-4 のように、アームへロッドエンドベアリング、エルボールを装着している。ピボットにゴムブッシュ等を使用していないため、荷重がかかった際

のたわみによるジオメトリの変化はほとんど無いと考えられる。



図.2-4 アーム形状(アッパーアーム)

アーム長はアッパーアームが短く上下アームの間隔は車体側が狭くなっている。これはロール時の対地キャンバー変化を少なくするためのものだが厳密に設計したものではないので調節が必要である。

車体との接合部に数mmの隙間を作りスペーサーを間にはさむことによってカスター角を調節することが出来る。またアーム長もフロント 150+10mm、リア 183+10mmほどの範囲で調節でき、停車時のキャンバーを調節することが出来る。

ショックアブソーバーには図.2-5 のようなスクーター用のガスショックを使用した。



図.2-5 ショックアブソーバー

図.2-6 が完成したフロントサスペンションである。アームより外側の部分(ブレーキ部や車輪)が大きくなってしまったため前輪の車体幅は目標値に収まらなくなってしまった。



図.2-6 フロントサスペンション

2.3.2 リアサスペンション

リアサスペンションにはフルトレーリングアーム式を採用した。フルトレーリングアーム式とは図.2-7のように車体中心線に対し直角にピボット軸を持ち、1本の縦アームが車輪を案内する方式である。現在ほとんど市販車には採用されていない形式で、一般に長所として

- ・ボディに対するキャンバー変化、トー変化が無い
- ・ショックアブソーバーに曲げ応力がかからないためフリクションが少ない

があり、短所として

- ・ロール時に対地キャンバー変化が大きい
- ・横力に対する剛性が低く強度的にも不利

などがある。

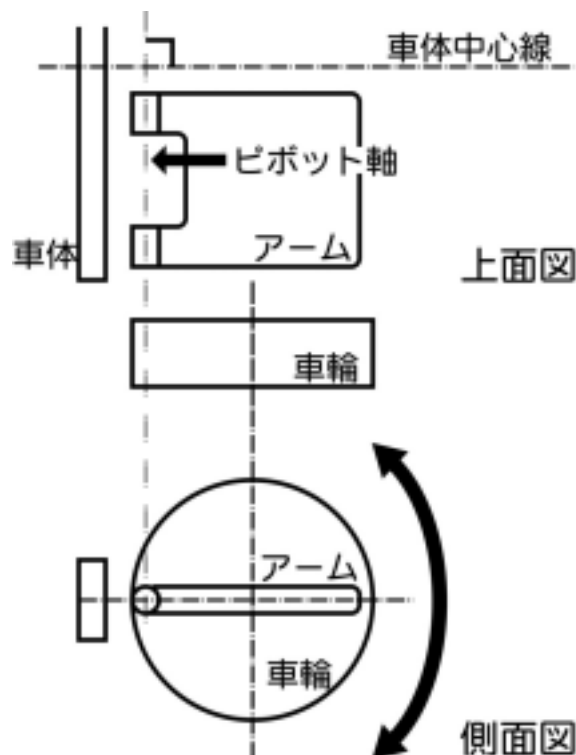


図.2-7 フルトレーリングアーム略図

この形式を採用した理由として

- (1) 構造が単純である
- (2) モーターを置く十分なスペースがあった
- (3) スクーター用ショックアブソーバーが無加工で使用できる

などが挙げられる。

アームは図.2-8のように左右からモーターを挟む形になっている。車体との接合部にはロッドエンドベアリングが装着されており、荷重が加わった際のたわみによるジオメトリ変化はほとんどないと考えられる。(図.2-8は古いモデルであり実際には違う形状をしているが概念は同じである。)

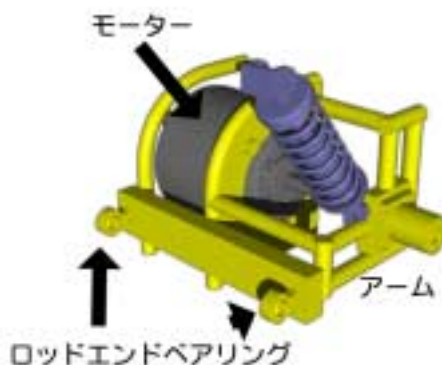


図.2-8 リアサスペンションモデル図

ショックアブソーバーにはフロントと同じスクーター用のガスショックを採用している。

図.2-9 が完成したリアサスペンションである。リアは車体目標サイズ内に収まったが、フロントと比べると狭くなってしまい、バランスとしては悪くなっている。これが走行にどう影響するかはわかっておらず今後の実走行で確かめていきたい。



図.2-9 フルトレーリング式サスペンション

リアサスペンションはモーター取付部も兼ねているため詳しくは後述する。

2.4 フレーム形状

サスペンション形式が決定した後フレーム形状・サイズを決定した。サイズに関しては付録1に図面を記載する。

フレーム形状は図.2-10のように前側が狭く、後側が徐々に広がっていく台形のような形状で2重フレームとなっている。この形状になった理由の主なものとして前後のサスペンションの形式が挙げられる。以下にそれを挙げる。



図.2-10 フレーム形状モデル図

(1) 前側

ダブルウィッシュボーン式のサスペンションの性能を有効に使用するためにはアーム長を出来るだけ長くする必要がある。それは次に述べるスカッフ変化に関係する。

・スカッフ変化について記述する。スカッフ変化とはストローク時の、車輪接地面の横方向の動きを表わしている。図.2-11は等長で平行のアームを持つダブルウィッシュボーン式サスペンションのアームが、長い場合と短い場合のストローク時の挙動を背面から見た図である。この場合アームの形状は平行四辺形となるため、アームの長さに関係無く、タイヤが上下にストロークしたときのキャンバー変化はない。しかし、図からわかるようにタイヤの接地点Aの軌跡は、アームの長さにより大きく変わる。短いアームの場合は、ストロークの伴い接地点が大きく左右に振られるが、長いアームになると小さくなる。これは、うねりのある路面走行時のフラツキの原因になることがあり、小さいほうが望ましい。

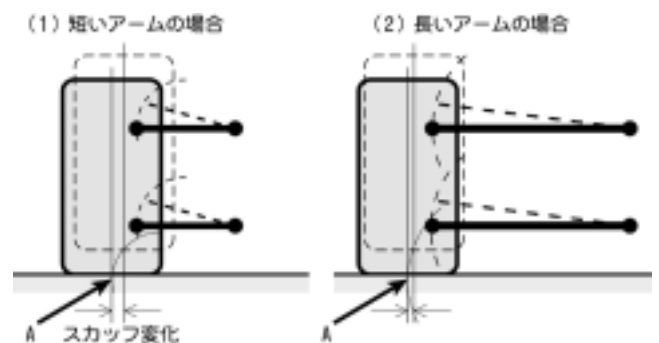


図.2-11 アーム長とスカッフ変化の関係

このようにスカッフ変化を小さくし、走行安定性を高くするにはアームを長くしなければならない。アームを長くするにはフレーム幅を狭くする必要がある。そこで前述した搭乗者の幅500mmをフレームの幅とし、アーム長は出来る限り長く設定した。

(2) 後側

前述したようにフルトレーリング式サスペンションは横力に弱い。そこで車体とアームを繋ぐピボットの幅を出来るだけ広げなければならない。また、前側のトレッドと後側のトレッドが大きく違っていると走行性能に支障が出る。そのためタイヤの外側を全幅目標値の1000mmに近づけなければいけなかった。

(3) 2重フレーム

メインフレームの剛性を高めるため、またバッテリーなどの重量物を搭載するスペースを確保するためメインフレームには2重フレームを採用している。上下のフレームの幅は必要とするバッテリーが搭載出来る高さ(間隔 250mm)となっている。

上記に述べた(1)(2)(3)の理由によりフレーム形状は決定した。

2.5 3D-CGによるフレーム及びサスペンションの原案作成

イメージを固めるため 3D-CG ソフト(エクストツール社 Shade Debut)によってフレーム形状、サスペンション構造の原案モデルを作成した。図.2-12はその製作画面である。

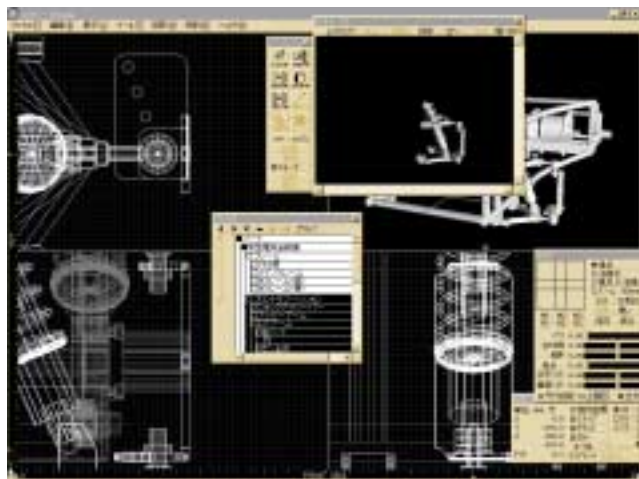


図.2-12 Shade Debut によるモデル製作画面

このソフトを使用した理由として

(1) 数値入力による、ほぼ正確なモデリングが可能である。

(2) 回転、拡大縮小、移動などの操作が 3D-CAD よりも容易に行えるため製作しやすい。

などが挙げられる。

話し合いなどから出た案を3次元化することにより個人のイメージを共有でき、作業を円滑に進めることが出来た。また部品の干渉、サイズなどの大きな問題点がないかを事前に調べることが出来た。

フレーム製作を依頼した鉄工所に小型電気自動車のイメージを伝える場合にも作成した図.2-13 などを使用した。



図.2-13 3D-CG により作成したモデル

2.6 3D-CADによるモデルの作成

3D-CG によるモデルを参考に 3D-CAD(Solid Edge)で正確なモデルを作成した。図.2-14は作成したモデルである。

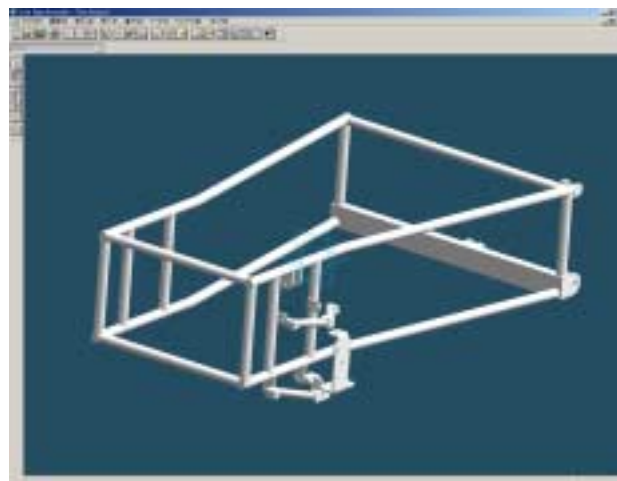


図.2-14 3D-CAD によって製作されたモデル(横山應祥製作)

このデータを 2D-CAD のデータに変換し、鉄工所へ製作を依頼する際に使用する製図とした。図.2-15は製作した 2次元図面の一部である。

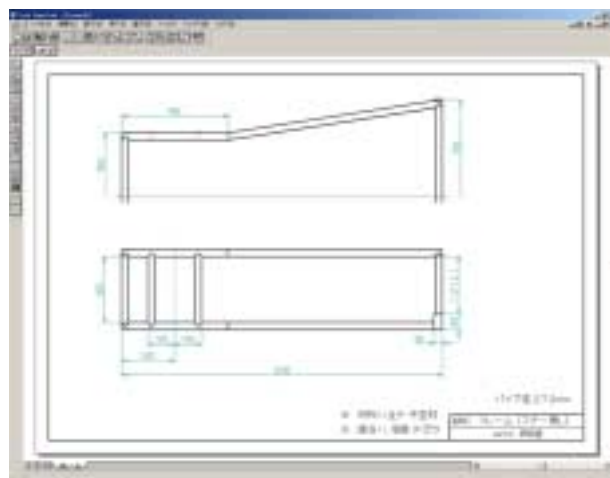


図.2-15 製作した 2次元図面例(横山應祥製作)

図.2-14 図.2-15 は代表的な図面であるが、製作に

当たってはチーム員である横山應祥が約 30 枚の図面を作成した。

第3章

小型電気自動車の特徴



図.3-1 HONDA 製 インホイールモータ

3.1 モーター及びモーター取付部

3.1.1 駆動用モーター

小型電気自動車の駆動用モーターには HONDA 製インホイールモータ (DDW4060) を使用している。図.3-1 インホイールモータを、表.3-1 にモーターの仕様を示す。

このインホイールモータを選択した理由として

- (1)モーターにコントローラーが内蔵されており、H8 マイクロコンピュータによる制御が容易に行える。
- (2)モーターからの出力があり今後フィードバック制御を行いやすい。
- (3)内臓ギアを組み込む事によりモーターの寸法を変えることなく減速比を変えられる。
- (4)研究室に2基あり、以前使用したことがあったため使用方法がわかっていた。

などが挙げられる。しかし問題点として

- (1)出力が小さい。
- (2)インホイールモータという特性上かなり丈夫に出来ているため重量がある。

があり、特に出力の問題は大きい。初期は減速を行わない方法で製作したが出力が不足、現在は内臓のギアを組み込み減速している。これに関する事は「第4章小型電気自動車に関しての小型今後の課題」で述べる。

表.3-1 モーター仕様

		DDW4060	
型	式	GMAC	
形	式	DCブラシレス	
タ	イ	D	
全	長	mm 226	
全	幅	mm 191	
全	高	mm 193	
重	量(質量)	kg 12	
ロータ	外径×積厚	mm 74×46	
ステータ	内径×積厚	mm 75×46	
磁	極	数 8	
冷	却	方	式 空冷
減	速	比 1:3.985	
定	出	力	kW 0.6
	回	転	数 rpm 200
	トルク	N・m 30	

インホイールモータはコントローラーが内蔵されており電圧によるスピード・ブレーキの制御、オーバーヒート信号や回転パルス信号などの計9つの入・出力を行える。表.3-2 に入・出力表を示す。しかし今回使用しているものはスピード・ブレーキ・正・逆転3つのみである。今後は回転パルス信号も使用しスピードを求められるようにしていく。

表.3-2 モーター入・出力表

	色	0~5VDC	電圧を上げると回転が上がる。
		5k1~00kΩ	
入	ブレーキ	黄	0~5VDC 5k~100kΩ
	正・逆転	茶	ON/OFF 100Ω以下
	リセット	青	ON/OFF 100Ω以下
	信号用電源	白	14±1V 30mA以内
	GND	黒	0V
	オーバーヒート信号	赤	15V 40μA以内
出	回転停止信号	緑	15V 40μA以内
	回転パルス信号	紫	0および5V 40μA以内 1/2T
	消費電流信号	灰	10A/1V 40μA以内
			スピード信号が入っていないかたり保護機能が働いていると0Vになる。
			モーター1回転につき12パルス発生する。PTO軸1回転の場合は減速をかける。
			10Aにつき1Vの電圧が発生する。

3.1.2 モーター取付部

インホイールモータは図 3-2 のようにリアサスペ

ンションに左右1基ずつ、計2基搭載されている。左右のモーターはマイクロコンピュータによって個別に制御されハンドル切れ角などの要因によって回転数の差を設け、ディファレンシャルギアの役目などを果たしている。制御に関することは後述する。

モーター軸と車軸は図のキー溝を彫ったカップリングを介して直結されている。付録2にモーター取付部の図面を示す。

カップリングを含むモーター取付部は原動機付自転車のフロントディスクブレーキ機構を搭載出来るように設計されている。現在はマスターシリンダーのねじ径が異なるため使用していないがその問題が解決出来次第使用していく予定である。



図.3-2 モーター取付部

3.2 ブレーキ機構

3.2.1 前輪ブレーキ

前輪には油圧ドラムブレーキを採用している。設計当初は前輪に原動機付自転車の車輪を使用しようと考えた。しかし、ブレーキ機構を搭載することが出来なかった。そこで、ブレーキ部を購入することで解決した。これは電気自動車を販売している「株式会社 ミクロ」から購入したもので、普通自動車等に使う物ではなく専用品である。油圧以外に、ワイヤーによるパーキングブレーキとしての使用も可能である。図.3-3・3-4に油圧式ドラムブレーキを示す。



図.3-3 油圧式ドラムブレーキ外観



図.3-4 油圧式ドラムブレーキ内部

3.2.2 後輪ブレーキ

後輪には駆動用モーターによる回生ブレーキを採用した。これはインホイールモーターの信号線に0~5Vの電圧をかけることにより無段階にブレーキの効きを調節出来るもので、機械的に停止は出来ないが大きな減速度が得られる。現在は可変抵抗によって電圧を制御しているが今後はH8マイクロコンピュータを用い車速やブレーキペダル踏みこみ角度に応じたブレーキ制御を行っていく。制御の概念などに関しては制御の項で解説する。

3.2.3 ブレーキユニット

ブレーキペダル・マスターシリンダー・ブレーキブースター等のユニットには軽四輪自動車のそれを使用した。図.3-5がそれである。ブレーキブースターは本来図.3-6のようにエンジンの負圧と大気圧の圧力差を利用しブレーキ操作時の補助を行うものである。電気自動車ではエンジンによる負圧は発生しないため図.3-7のような真空ポンプとタンクを利用して負圧を発生させ倍力装置を作動させる。倍力装置を使用しないブレーキ操作も可能である。しかし実走行させ

た際、倍力装置無しでのブレーキ操作を試みたが、停止までに大きな踏力が必要であった。またそのため固定しているフレームに大きな応力がかかり不安定であった。そのような面からも倍力装置は必需品であると感じた。



図.3-5 ブレーキユニット

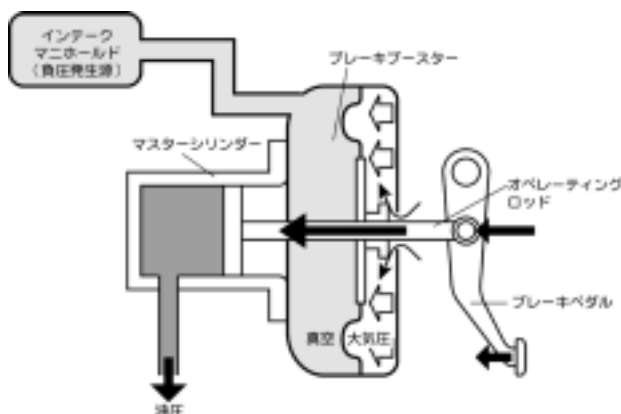


図.3-6 ブレーキブースターの仕組み



図.3-7 真空ポンプ・タンク

3.3 制御

現在行っており、改良していくものに駆動モータの回転数制御、これから行っていくものにブレーキ制御がある。制御には図.3-8のH8マイクロコンピュータを使用している。



図.3-8 H8マイクロコンピュータ

3.3.1 駆動モータの回転数制御

・概念

小型電気自動車のステアリングホイールに装着されているポテンショメータからステアリングホイールの切れ角を検知し、その切れ角によって小型電気自動車の回転半径を割り出し2基の駆動用モータの内輪・外輪の回転数に差をつけ、自動車のディファレンシャルギアの代替をさせるものである。図.3-9は制御回路の概略図である。

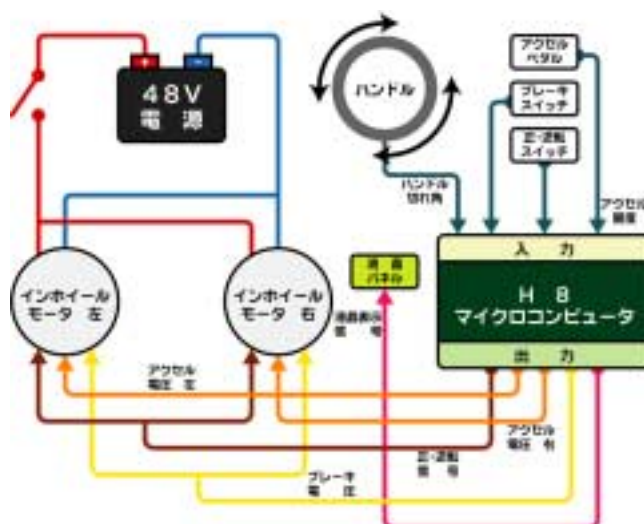


図.3-9 制御回路概略図

・入力

アクセルペダルにはポテンショメータ(5k、約240度)がギアを介して取り付けられており、H8マイクロコンピュータから見た場合の値は全閉～

全開が0～1024となる。

ステアリングホイールの切れ角検出には、ハンドルの根元にギアを介してポテンショメータ（1k、10回転）を使用している。ギア比が1：4.4である為ステアリングホイールを中立の位置から右にいっぱい切ると2.2回転することになる。H8マイクロコンピュータから見るとステアリングホイールの中立から右いっぱい切るまでの値が約512～700となる。

・制御

車両のトレッド(タイヤの中央から反対側のタイヤの中央までの距離)を1.0m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る。

図.3-10は、外輪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ことを示したグラフである。

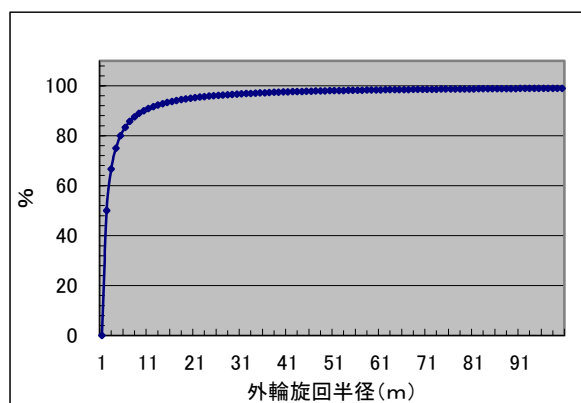


図.3-10 外輪に対する内輪の回転数の比

まず、アクセルペダルの踏み込み角を検知、さらにステアリングホイールの切れ角を検知する。ある数値以上あるいは以下(今回の設定ではステアリングホイールのポテンショメータの値が106以下あるいは150以上)で内輪の回転数を外輪の90%に制御する。

本来は、切れ角に応じて無段階に制御すればよいのだが、今回は制御が始めてであり且つ時間的な都合から“100%”“90%”の2段階の制御とした。

・今後の課題

自動車のディファレンシャルギアは単純に内輪・外輪の回転数差を吸収する仕組みとなっており、あるステアリングホイールの切れ角で突然回転数が変化することはない。しかし現在の制御では“100%”

と“90%”での2段階で回転数が変化するのは制御が行っていない。そのため切り替えのポイント付近で左右の回転数が適切ではなく、車体とドライバーに負担がかかっていると思われる。また車速や前後タイヤへの荷重の変化などによっても適切な回転数差の値が変化する。

今後は実走行テストを行い車速やその他フィードバックを得て、段階数を増やした最適な制御を考えていく。

3.3.2 ブレーキ制御

・概念

駆動用インホイールモータの回生ブレーキを速度やブレーキペダルの踏み込み角度などに応じた最適に制御する。図.3-11はその概念図である。

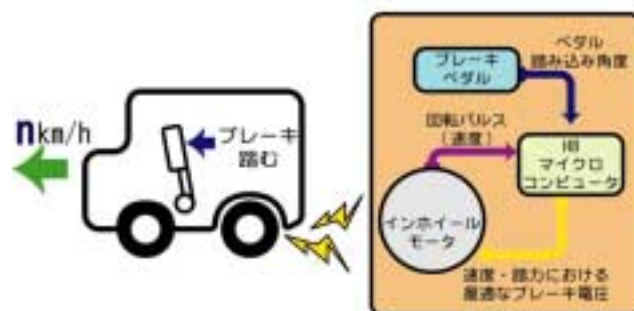


図.3-11 ブレーキ制御概念図

・入力

ブレーキペダルにポテンショメータを付け踏み込み角度を検出する。またインホイールモータの回転パルスをH8マイコンボードに入力する。

・今後の課題

後輪はH8マイコンボードによって制御を行えるが前輪は行えない。そのため前・後輪のブレーキバランスが重要になってくる。また、踏み込みのスピードによってもブレーキの効き方は変わってくる。それらを踏まえた実走行テストを行い最適なブレーキ制御を考えていく。

第4章

終章

4.1 小型電気自動車についての今後の課題

図.4-1・4-2の写真が現在までに出来ている小型電気自動車である。現在の段階で判明している課題と今後の対策を述べる。



図.4-1 小型電気自動車側面



図.4-2 小型電気自動車背面

(1) 知識の不足

今回電気自動車の設計・製作を行い、特に感じたことは我々の機械製図や機械工作に対する知識の不足である。

鉄工所にフレーム等の製作を依頼する際、必要な寸法が欠けていたり、見づらくわかりにくい物もあった。また、図面がうまく出来なかった場合は鉄工所の方に寸法を入れて決めていただいた物もある。図面は設計者と製作者を結ぶ重要な物なので今後は図面の製作をきちんとしていきたい。

機械工作に関しては、特に溶接に対するものが大きかった。実際に自分で溶接を経験していないため溶接の熱に伴う「歪む」という感覚がわからなかった。ステータ等の溶接でマージンを取っていないために歪んでしまい、部品を取り付ける際に苦労したことがあった。自分で機械工作を行い感覚がわかることが大事であると感じた。

(2) モーター、及び取付部

現在モーターの出力が絶対的に不足し、内部で1:3.985に減速して使用している。しかしこの状態だとモーターが最高回転数まで回っても小型電気自動車の速度は14km/h未達としかならず、公道を走行し「四国EVラリーフェスティバル」に参加出来るだけの実用性を備えていない。また、車軸とモーター軸が直結という構造の為に、車輪が接地面から受ける力で軸が歪んでしまう。そのため、走行すると異音が生じ、駆動ロスも起きている。今後はモーター取付部を、車軸とモーター軸をギアやプーリーなどを介し、外部で減速出来るものへ設計しなおし、再製作をする必要があると考えている。

4.2 結言

今後は製作した小型電気自動車の実走行を行い、短距離移動用としての性能向上を行っていく。また、高齢者の利用などを考えた自動運転技術を意識した勉強を行っていきたい。

謝 辞

本製作において製作資金を提供して下さった高知県庁産業技術振興課、ショックアブソーバー4本を提供して下さった株式会社デイトナ、バッテリー - を提供して下さっ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も部品を製作していただいた福留工業、坂本鉄工の関係者各位に厚く感謝いたします。

学会発表

1. 澤田達郎、坂本東男、戒能徹、横山應祥

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4に概要を記載

2. 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5に概要を記載

3. 横山應祥、坂本東男、澤田達郎、内野喬誌

小型電気自動車のフレームの応力解析

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6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.

参考文献

車両運動性能とシャシーメカニズム

著者 宇野 高明

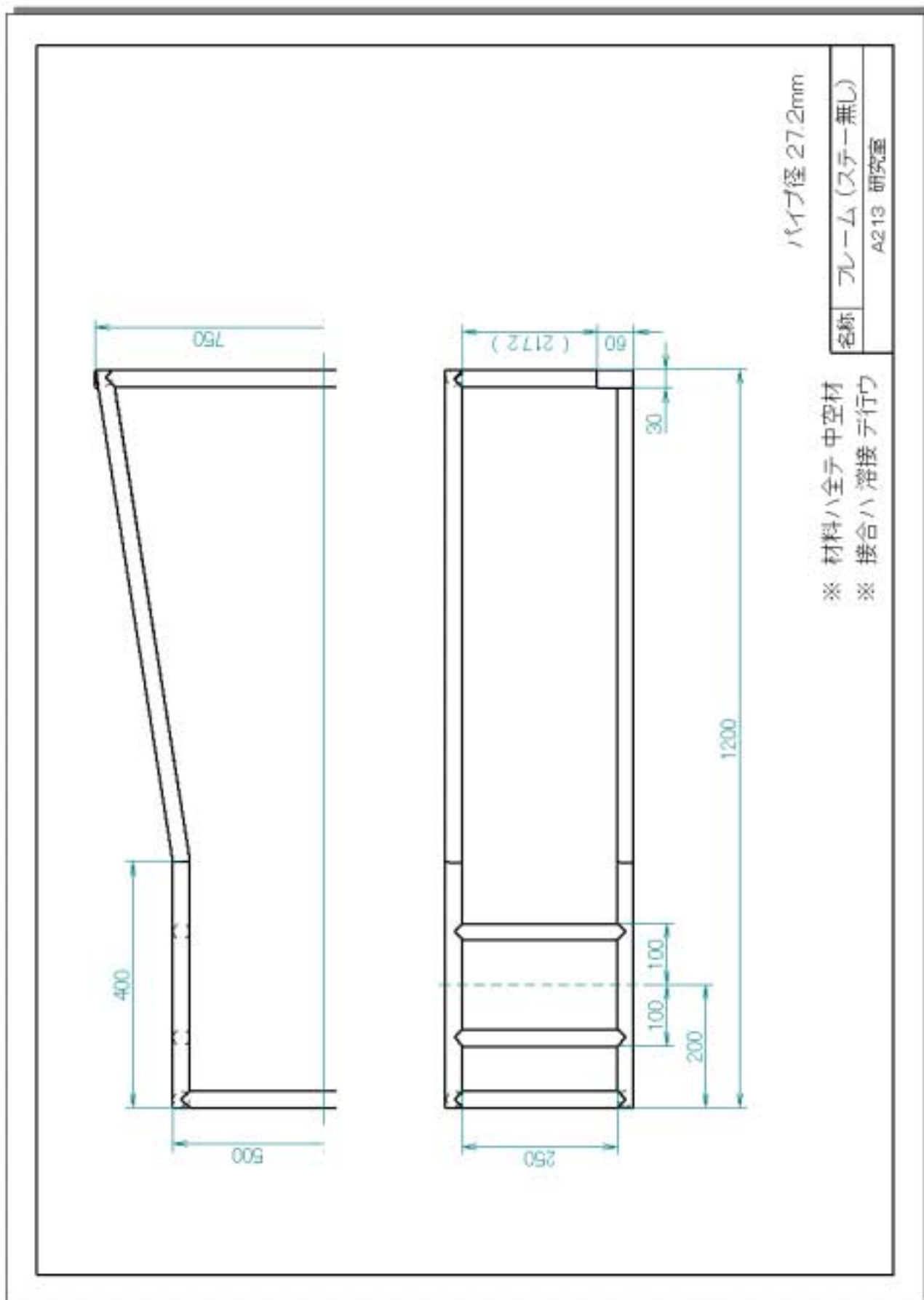
サスペンションの仕組みと走行性能

著者 熊野 学

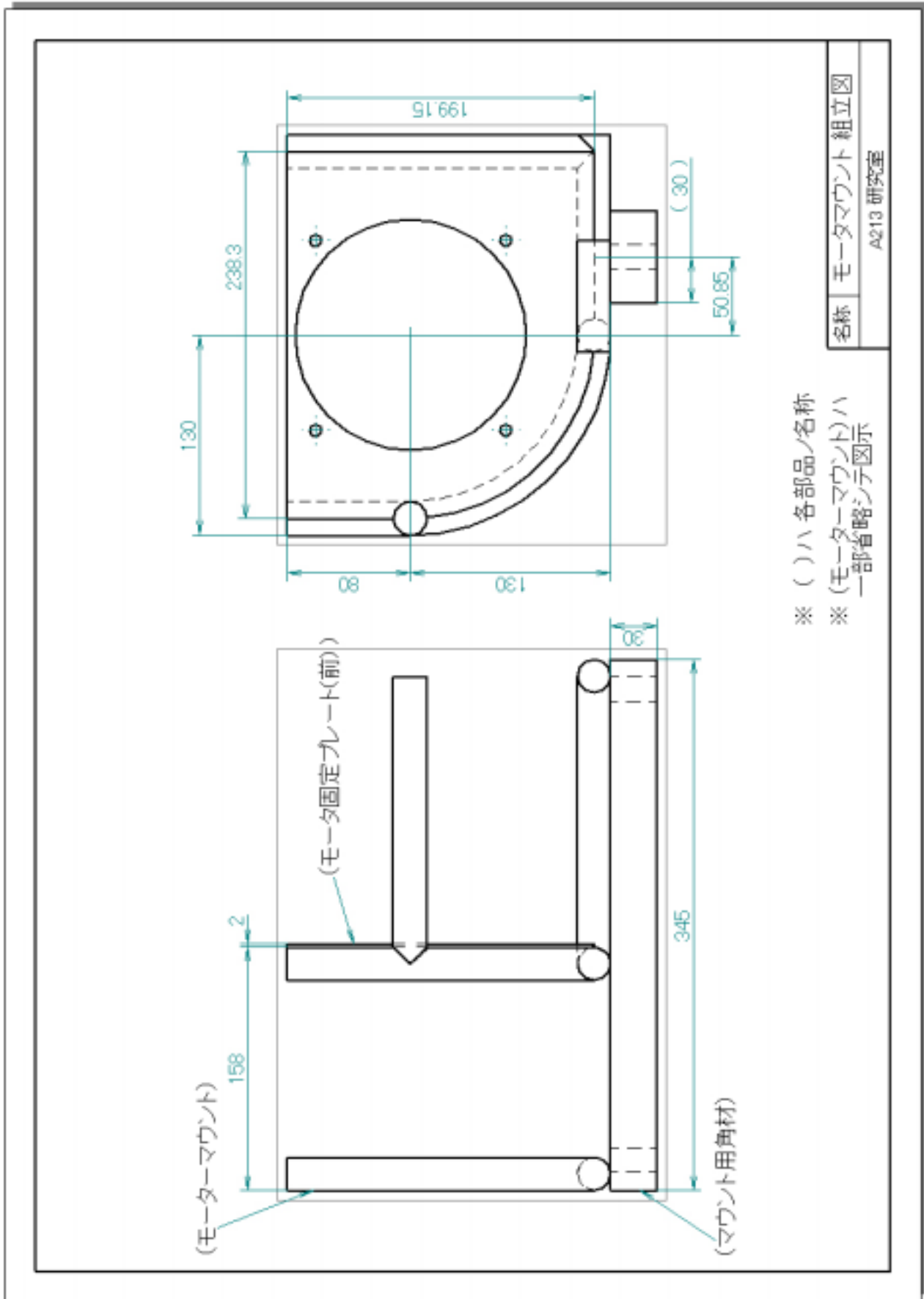
自動車のサスペンション

カヤバ工業株式会社 編

付録1 フレーム図面



付録 2 モーター取付部図面



付録 3 小型電気自動車諸元表

寸法・重量	全長	1650mm
	全幅	1200mm
	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350kg
モーター	名称	DDW-4060 Type D
	型式	GMAD
	形式	DC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
	減速比	1:3.985
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

付録4 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のに適用でき、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台形形状となった。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. 小型電気自動車に関しての今後の課題

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。

付録 5 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、近距離輸送用のコンピューターとしての役割が期待されている。我々はコンピ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。

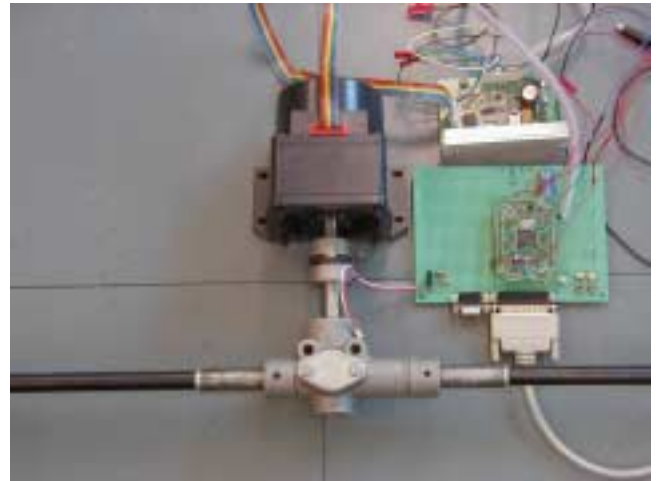


図2．サーボモータ、ラックアンドピニオン機構及びマイコン

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。

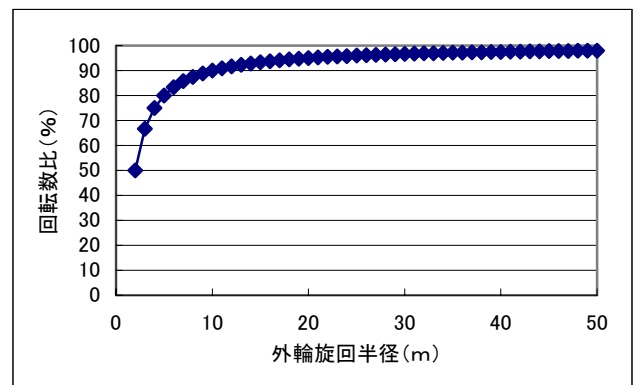


図3．外輪に対する内輪の回転数の比

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。

付録 6 小型電気自動車のフレームの応力解析

横山應祥（高知工科大）
澤田達郎（高知工科大）

正 坂本東男（高知工科大）
内野喬誌（高知工科大）

1. 緒言

我々は個人の近距離移動の新たな手段として、Fig.1 に示すような一人乗りの小型電気自動車を製作した。

電気自動車は動力源にバッテリーを使用する為どうしても全体重量が重くなりがちである。十分な耐久性を持つように構造を考えた設計を行ったが、自動車製作に関する知識や経験のあまりないところから製作しようとしたので、実際にどれくらいまでの力に耐えられるかは分かっていなかった。

そこで、製作した小型電気自動車の主要な部品であるフレームについて応力解析を行い、その耐久性について評価を行うこととした。



Fig.1 製作した小型電気自動車

2. 小型電気自動車のフレーム

Fig.2 に製作した小型電気自動車のフレームの CAD 図面を示す。

縦： $H = 304.4 \text{ mm}$ （内側 250 mm ）

長さ： $L = 1200 \text{ mm}$

リヤ幅： $W_r = 750 \text{ mm}$

フロント幅： $W_f = \text{最小} 500 \text{ mm}$

である。 $20A(27.2 \times t 2.8)$ のパイプ（材質：SGP）と、断面 $60 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ の角材（材質：SS400）を組合わせて作られており、その接合は全て溶接で行われている。フレーム前方に前輪及びステアリング機構、後方に後輪及び駆動モータ、フレーム中央付近にバッテリー及びシートを設けてあり、総重量は約 350 kg である。

3. 解析方法

3.1 解析モデル及び解析条件

本解析の前の予備解析として、バッテリーは考慮に入れずシートの上に人が乗っていると仮定して解析を行った。

Fig.3 に示すように要素はサスアーム接続部の6点で拘束することとし、荷重はシート取付け部4点に各 367.5 N が作用するとして解析をおこなった。荷重の決定には以下の式を用いた。

$$\begin{aligned} & (\text{乗員の体重: } 55 \text{ kg} + \text{シート重量: } 20 \text{ kg}) \\ & \times (\text{安全率: } 2) \times 9.8 \times (\text{4点等割: } 1/4) \\ & = 367.5 \text{ N} \end{aligned}$$

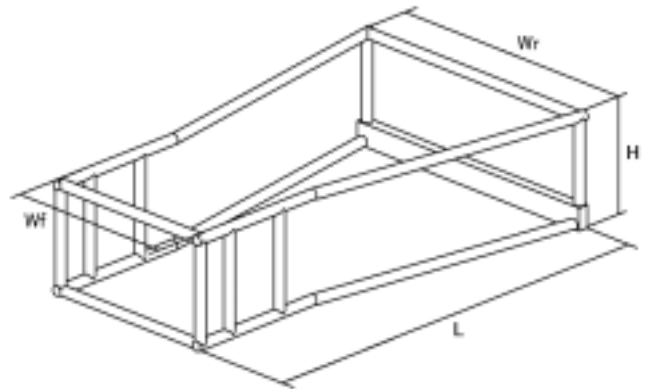


Fig.2 フレーム図面

3.2 解析結果

解析ソフト上でモデルを作成し（Fig.3）要素に分割して解析を行った。

現在予備解析の評価を行っている途中であるが、現在までの解析において今回製作したフレームは十分すぎる強度を持っており耐久性は十分であると思われる。

今後さらに予備解析の評価を進め、その上でバッテリーの重量を条件に加えるなどの解析条件の変更や、フレームモデルの手直しを行い、本解析を行うものとする。

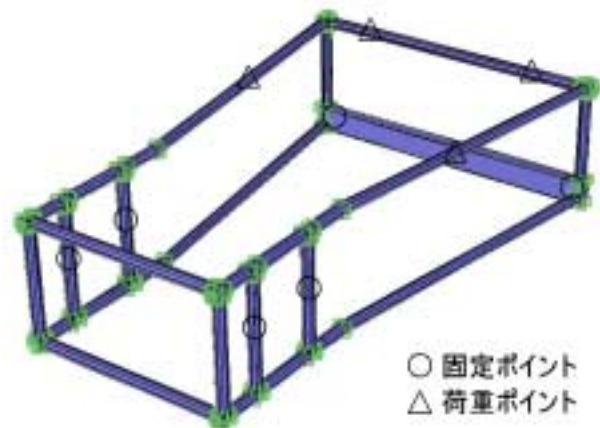


Fig.3 フレームの解析モデル及び