

生研公開講演

「電気と制御で走る近未来車に関する研究」

堀 洋一 (東京大学生産技術研究所 情報・エレクトロニクス系部門 教授)

(スライド) (省略)

生研第3部の堀と申します。研究室ではこんなことをやっているという話をしますが、私はいまでも半分ぐらいは本郷のほうの教員もしております、こちらのほうに来ましてまだ1年半ぐらいにしかありませんので、きょう聞いていただきます電気自動車の研究も大部分は本郷のほうでやってきたことなんです。こちらのほうに来ましてガレージもいただいたりとかいろんな設備面でのよさ、自由な雰囲気を変え楽しんでいるところです。こういった機会も設けさせていただきまして本当にありがたく思っております。このままずっと生研にいたいなどと思っているようなところもございます。

初めに研究室のご紹介、なぜ私がこんなことをやっているかということをやっと申し上げます。

堀 洋一 研究室

電気自動車の制御
電気自動車の最大の特色 → モータの効率的制御
■ 効率的なモータ制御 → 車載の電気系統は半導体
■ 車載の電気系統 → システム全体の制御
■ 車載の電気系統 → システム全体の制御

動くものの制御
なら何でも
やっています

モーションコントロール
電気・機械系から見たモーションコントロール
① 電気系から見たモーションコントロール
② 機械系から見たモーションコントロール
③ 電気・機械系から見たモーションコントロール

福祉工学
高齢者や障害者への工学の支援を目的と
した、福祉工学の研究
① 高齢者モニタリング
② 高齢者モニタリング
③ 高齢者モニタリング

東京大学 生産技術研究所 情報・エレクトロニクス系

モーションコントロールと書いてありますが、これは実は私のベースで、もうちょっと言うとなら電気エレクトロニクスという計算機とか弱電のセンスで大きな電力を動かすというのが私のもともとの専門なのですが、モータを回したりロボットを動かしたり、こういうところをベースとしてやってきました。もともといた研究室が鉄道の研究室だったものですから、曾根悟先生といいますが、動くもの、あるいは乗り物に大変興味がある。ただ自動車はどうもやりたくなかった面もございます。だけど、ちょっと考えてみますと、ロボットとか電気の制御、そういうもので機械が動くというのは大変おもしろくて、これもまさにそういうものだとということで、最近はこちらのほうに少し力を入れています。なぜこんなことをやっているかということにつきましては、きょう少し聞いていただくつもりです。

それから最近こういうことを始めています。これはまだまだ初心者なのですが、自分自身もちょっと腰が痛いといったことがありますので、高齢者、身障者のための援助の技術、こういったものもモーションコントロールという範疇に入ってくるのです。なかなかこういうことを東京大学のような最先端のところは従来やってこなかったのですが、やりたいという若い学生も最近増えています。車いすを補助したりする。もしご興味があったら見てください。

堀研究室

〒501-502-503 東海大学工学部
50287 (教員室) 50288 (学生室)
name@horiuchi.ais.u-tokyo.ac.jp
http://mizugaki.ais.u-tokyo.ac.jp/index.j.html

堀研究室

堀 洋一
堀 洋二
堀 洋三
堀 洋四
堀 洋五
堀 洋六
堀 洋七
堀 洋八
堀 洋九
堀 洋十
堀 洋十一
堀 洋十二
堀 洋十三
堀 洋十四
堀 洋十五
堀 洋十六
堀 洋十七
堀 洋十八
堀 洋十九
堀 洋二十
堀 洋二十一
堀 洋二十二
堀 洋二十三
堀 洋二十四
堀 洋二十五
堀 洋二十六
堀 洋二十七
堀 洋二十八
堀 洋二十九
堀 洋三十
堀 洋三十一
堀 洋三十二
堀 洋三十三
堀 洋三十四
堀 洋三十五
堀 洋三十六
堀 洋三十七
堀 洋三十八
堀 洋三十九
堀 洋四十
堀 洋四十一
堀 洋四十二
堀 洋四十三
堀 洋四十四
堀 洋四十五
堀 洋四十六
堀 洋四十七
堀 洋四十八
堀 洋四十九
堀 洋五十
堀 洋五十一
堀 洋五十二
堀 洋五十三
堀 洋五十四
堀 洋五十五
堀 洋五十六
堀 洋五十七
堀 洋五十八
堀 洋五十九
堀 洋六十
堀 洋六十一
堀 洋六十二
堀 洋六十三
堀 洋六十四
堀 洋六十五
堀 洋六十六
堀 洋六十七
堀 洋六十八
堀 洋六十九
堀 洋七十
堀 洋七十一
堀 洋七十二
堀 洋七十三
堀 洋七十四
堀 洋七十五
堀 洋七十六
堀 洋七十七
堀 洋七十八
堀 洋七十九
堀 洋八十
堀 洋八十一
堀 洋八十二
堀 洋八十三
堀 洋八十四
堀 洋八十五
堀 洋八十六
堀 洋八十七
堀 洋八十八
堀 洋八十九
堀 洋九十
堀 洋九十一
堀 洋九十二
堀 洋九十三
堀 洋九十四
堀 洋九十五
堀 洋九十六
堀 洋九十七
堀 洋九十八
堀 洋九十九
堀 洋一百

研究室の陣容、だいたい典型的な研究室というのはこんな感じになっていると思いますが、私はここにおいて、このぐらいの人数の大学院生がわっている。ちょっと特別なポジションなので卒論生がいたりしますが、最近留学生、中国の学生がけっこう多い。こんなようなことでだいたいやっています。産学連携というようなこともよくありますが、われわれの兵隊さんというのはこういう若い学生たちで、勉強しながらやっているというのが実情です。



もともとは工学系研究科の電気工学専攻というところ、大学院はそちらの所属で、これはたまたまこのあいだつくりました大学院の募集のポスターです。電気の世界というのは非常に小さいものからでかいものまで同じような法則で動くというところに魅力がありまして、私もそういうようなことで電気というのを志してきました。

電気と制御で走る未来の車

東京大学生産技術研究所第3部 堀 洋一

電気モータの最大の特徴 → 高い制御性

■ 高速トルク応答

→ 車輪の空転防止制御

■ モータの分散配置、各輪独立駆動

→ 2次元車体運動の制御

■ 正確なトルク値の把握

→ 路面状態推定

以上がちょっとした前置きなのですが、きょうの本題であります「電気と制御で走る未来の車」。これはタイトルからおわかりのように、言いたいことは、これからエンジンというものがだんだんなくなっていったって電気駆動になっていくであろう。車が電気駆動になっていくというのは時代の大きな流れであると思います。そういう中において制御という、こちらはわりと知られているのですが、この制御というものがこれからおもしろい分野になっていきますよということを主張したいのです。

電気のほうはなんとなくわかるのですが、制御っていったい何ができるのだろう。電気自動車の最大の特長は電気モータのもっている特長であります。ここのところは実はあまり理解されていなくて、単にエンジンをモータに置き換えるというような形で電気自動車というのは理解されている面がかなりあるのですが、実は当たり前ですが、電気自動車は電気モータで動く。そうすると何がいいのかということをもう一回考え直してみますと、この3点ぐらいあるということがわかります。

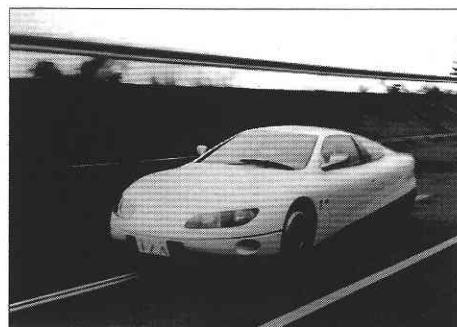
1つは、高速トルク応答といって、トルクというのは回転力ですが、モータあるいはエンジンに力を出しなさいという指令を出して、どのくらい遅れてトルクが出るか。モータの場合はだいたい数ミリ秒（1ミリ秒から5ミリ秒）であります。エンジンはどのくらいかという、だいたい100ミリ秒、200ミリ秒かかります。モータが1ミリ秒つまり1,000分の1秒の応答をもって人間はそんなのは感じないから、なにいてるんですかと自動車評論家にずいぶん怒られまして、そんな危なっかしい車をつくってもなにもなりませんよというようなことを言われる。この理屈は半分間違っていて、人間の特性を入れて論じなければいけない車の特性と、そんなものを入れて論じなくていいものと別々なのです。

制御の言葉でいうと二自由制御といいます。例えば車輪がちょっと滑ったというようなときに、それがぱっと再

粘着をする。こんなものは人間が介する必要はないわけでありまして、その2つを一緒にしてしまうとABSみたいなもののしか頭に浮かばなくなってしまいます。結局人間がバタバタと足でやるようなものを介することになる。これは実は全然違います。これは制御のほうでは常識であるし、例えば鉄道の世界をみればこれは非常に明らかなのであって、新幹線のようなものが300キロ、400キロを超えても、なおかつトルクを出すことができるというのは、実は電気モータの制御が非常に大きな役割を果たしています。鉄道の特長というのは車輪とレールのように滑りやすいものが堂々と使われているのですが、よく考えてみると、あんなもの、つるつる滑ってしょうがないんですよね。ところが実際は滑っておりませんよね。それどころか、モータの制御方式によって非常に違う。直流機関車、交流機関車というのをよくご存じの方がいらっしゃるかもしれませんが、同じパワーでも交流機関車のほうがたくさん貨車を引っ張ることができます。実は電気、機械系というのが一緒に働いているからこんなことになります。

次は、モータの分散配置。これはできる。例えばエンジンを4つ積んだ車なんていうのはあまりみたことがないと思いますが、私のところの車なんかもそうですが、モータを4つもっています。車輪の中に入っている。4つに分けると確かにコストは上がりますが、たぶんエンジンほどではないので分散配置をすることができる。それによって新しいメリットが出てくるというのが2番目の話です。

最後は、正確なトルク値の把握というのですが、これは実はガソリンエンジンは自分がどのくらいの力を出しているのかよくわからないそうです。だいたいこのくらい出ている。ところがモータは電流をみていれば自分がどのくらいの力を出しているかというのはかなり正確に早くわかります。そうすると何ができるかというと、いまどんな状態の道を走っているのかかなりちゃんと推定することができます。あとでデモンストレーションをいたします。この3つであるということを言って、こういうことを追求しないと電気自動車の勝ち目というのはほとんどありません。



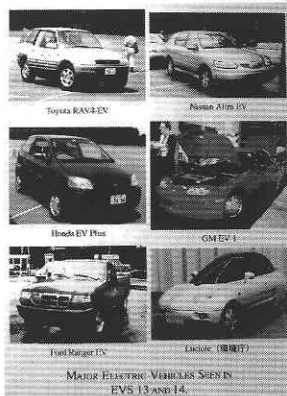
IZA(東京電力・1991)

これは私がどうしてこの道に入ってしまったかというひとつのエピソードですが、いまから12年ぐらい前、東京電力が「いざ=IZA」という、これは茅陽一先生、いま二酸化炭素などをやっていらっしゃる先生、私の先生だったの

ですが、一緒に茅・堀研ということで本郷でやっております。そのときに茅先生が東京電力さんに話をもちかけて、夜間電力の吸収というポイントがあって、「IZA」という車をつくりました。

(スライド)(省略)

これは、「いざ、ゆかん」の「いざ」であって、何かの頭文字の略ではないのですが、こんなような形で最高速が200キロ近く出たし、ゼロヨン加速も18秒、1充電500キロというわりといい性能ができて、これで、電気自動車、なかなかやるじゃないのということになりました。



そのあとちょうど時期を同じくして、トヨタ、日産、ホンダ、こういったところがピュアな電気自動車を出しました。これはトヨタのRAV4、これは日産、はじめはプレイリージョイだったのです。これはホンダが新しくEVプラスというのをつくりました。あと外国のメーカーもあります。

(スライド)(省略)

こういうものをつくったのですが、だいたい性能的に1充電走行距離として200キロぐらい、外国のはちょっとよくなります。それから最高速もこのくらい。このくらいでどうでしょうか、使えますでしょうか、というようなことを出したのですが、これは市場に受け入れられることはなかった。いまでもこの車はございますけれども、この形で受け入れられてはおりません。ご承知のようにハイブリッド車とか燃料電池自動車などはもっとずっと長く走れるわけです。これは一応何回目かの電気自動車のブームになりました。

そういう大きいやつはどうも具合がわるいということで、もうちょっとあとになりますと、これは日本の3社ですが、トヨタ、ホンダ、日産、こういうところが、これは2人乗りぐらいの少し小さい車をつくりました。これも「ベブ=BEV(Battery Electric Vehicle)」あるいは「ペブ=PEV(Pure Electric Vehicle)」といいますが、ハイパーミニ、シティパル、e-com、こんなものをつくりました。

性能的にはこんなものです。だいたい100キロ走って、最高速も100キロぐらい。このぐらいで使えるところがあろうかというのですが、これはニッチ市場といって、うまく隙間の市場を埋めることができるのではないか。こ



最近の超小型EV

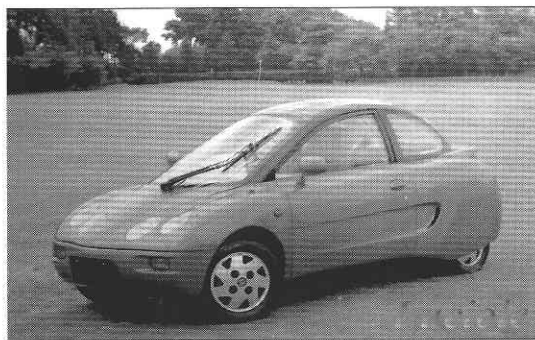
メーカー	トヨタ	日産	ホンダ
車種	e-com	Hypermini	City Pal
電池	Ni-MH	Li イオン	Ni-MH
モーター	PM	PM	PM
最大出力	19kW	20kW	30kW
一充電走行距離	100km	130km	130km
最高速度	100km/h	100km/h	110km/h

れはいまでも続いていると思いますが、こんなような性能のところだとどうでしょうか。これも共同利用ということといろいろなプロジェクトをやっておりますが、どうも車は共同利用というのはあまり、はやらないかもしれません。どうも鉄道と違って車というのは個人所有の楽しみを奪ってしまうとなかなかはやらない。私も息子がいて、「おやじ、車、買ってくれ」とは言うけれど、「おやじ、山の手線、買ってくれ」とはなかなか言わないですね。そういうような感じがあるので、どこまで個人所有というのをくずしていくか。バッテリーぐらいまではいいのではないかといろいろな提案をしているのですが、なかなかうまくいかない。



これはハイパーミニであります。みなとみらいで試験をやったところのもので、電気充電スタンドからこうやっておきますと、自動的に充電をしてくれます。

これはそのあと、これは大変大事な車で、いま慶応大学



エコビークル Luciole (環境研究所, 1996)

に行かれた清水浩先生が中心になっておつくりになったエコビークル「ルシオール」という車です。もう8年前になるでしょうか。

(スライド) (省略)

これは大変小さい車で、いろんな技術を使いました。その中でもこのインホイールモータ、タイヤの中にモータを入れてしまう。それからバッテリービルトインフレームといって電池を床の材料の中に入れてしまいます。あとはバッテリーマネジメントシステム、バッテリーもうまく管理をして、いわゆるエネルギーシステムとして管理すると非常にいいものになります。

(スライド) (省略)

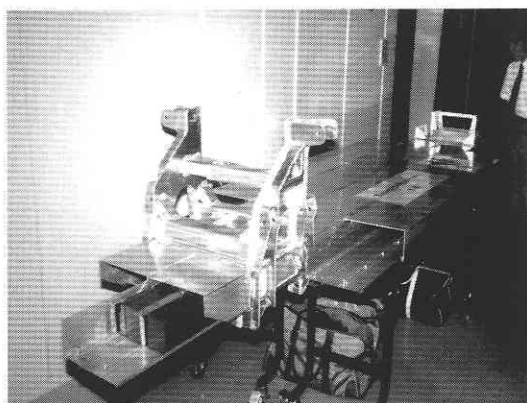
これはインホイールモータ。私のところの車もこれと同じモータを買ってきました。モータ1個で車を買えますが、タイヤの中に入れる大変性能のいいものです。これでたしか36キロワットというようなパワーが出て、重さはブレーキとギアも入れて全部で25キログラム。まだこれでも重たいので、ばね下重量になる。そういうところは非常に問題もありますが、これがどんどん小さくなっていった、タイヤの中にモータを入れるというのはこれから非常に大事な流れになるかもしれません。こんなものを使う。

(スライド) (省略)

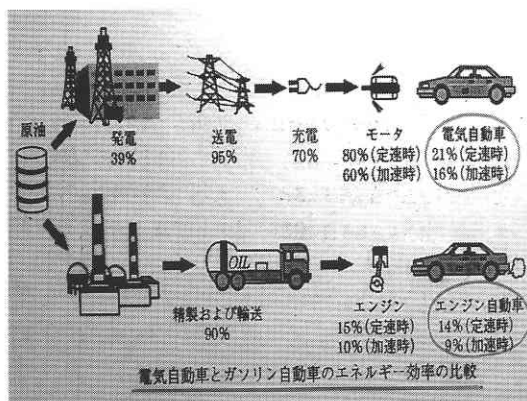
これはそのルシオール。2台つくりまして、これは試乗したりしているところです。「ニュースステーション」の昔、久米さんがこれに乗って大変喜んでる番組がいくつかございますが、重心も大変低くて安定性もよろしい。それにちょっとカッコいい。こういう要素が車にとっては大事なことになります。

例えばテイルランプは発光ダイオードなのです。応答速度20マイクロ秒。そんなんで何がうれしいのだということになりますが、実は裏側が何も無いのです。ぺちゃんこですから小さい車にはいい。ランプだと中にはみ出しますがこれだと表面だけですみます。こんなところにもちょっとしたハイテクが入っています。

バッテリービルトインフレーム。ここにタイヤが入って上にちょっと機材が載りますが、これがバッテリーです。4つのダクトにバッテリー58個入れて、高さ10センチぐらいですからどこにあるかわかりません。こんなようなことができます。よくご覧になるミニ四駆のちょっとでかい

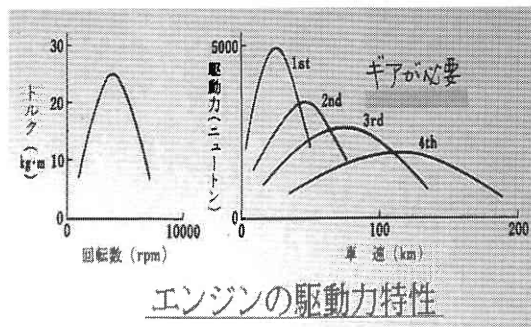


やつという感じで上に乗せる殻によってゴミ収集車にもなればスポーツカーにもなる。そんなようなものができる。設計の自由度が上がるということは言えます。

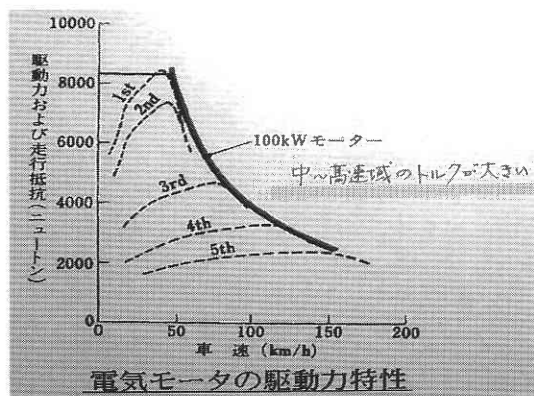


この辺は釈迦の耳に念仏ということになるかもしれませんが、原油からみた効率というのはガソリンエンジンのほうがいいのか電気自動車がいいのかということですが、こういったような数値がよく言われますが、電気自動車のほうがちょっといいのです。でもこんなところでもって電気自動車がいいぞいいぞと言っても、こちらにもハイブリッドが出てきますし燃料電池とかいろいろなものが出てきますので絶対負けてしまいます。ガソリンエンジンはいまやこんなものではないです。非常にクリーンだなんて言っている、電気自動車はどうもあまり勝ち目はない。それから二酸化炭素がどの辺で出るかなんていうの

はいまや大変大事なのですが、これも石炭を燃やしていたのでは同じことになりますから、あまりクリーンネスというので電気自動車を主張しても勝ち目がありません。ガソリンだって相当がんばります。



ではこれはどうかということですが、エンジンというのはトルクと速度の範囲というのが非常に狭い、こんなような特性をもっています。回転速度のいいところで、いいトルクが出る。だからギアがどうしても必要で、こういうふうに変えていく。1速、2速と変えていきます。



モーターの場合はそういうことはいい。これはちょうど反比例のグラフになっていて、横軸は車速、こちらは力ですが、これは掛け算をすると一定、パワー一定の曲線というのはこういう反比例のグラフになりますが、これは1速、2速というのを気にしないで、ずっと全域をカバーすることができます。したがって先ほどの IZA なんという車はギアチェンジの全然ない加速がずっと高速まで続いていきます。そういったところは確かにメリットがある。これだけではありませんよということはあるところから言うのですが、いま一般的に言われていることを述べておきます。

ところがやはりバッテリーというのはなかなかいいものができません。これはエネルギー密度とかパワー密度というのを比べているのですが、これは鉛、電池、ニッケル、メタハイ、リチウムイオンとかいうのですが、だいたいこんなような数値でだんだんよくなってきていますが、ここにすごいやつがひとつあります。これはガソリンなんです。9800 と書いてありますが、ガソリンエンジンという

How about the Pure EV (PEV)?

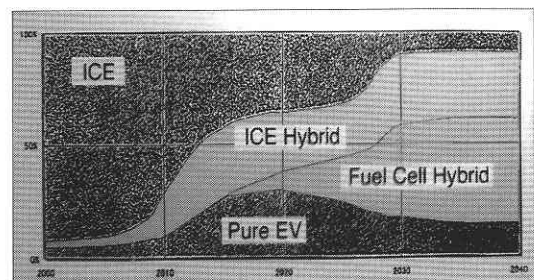
The problem is about the battery: Energy Density.

	Energy Density [Wh/kg]	Energy Density [W/l]	Output Power Density [W/kg]
Pb-acid	35	95	220
Ni-MH	80	190	220
Li-ion	100	160	300
Li-ion(*1)	64		15,00
Li-polymer(*2)	135		54
Gasoline		9,800	

*1 ... for HEV.

*2 ... Need to be warmed at 60-70°C

のはこの辺に比べるとだいたい2ケタぐらい大きなエネルギー密度をもっています。だからエンジンというのはものすごい力を入れて開発されてきて、機械工学者はこれをその辺を走り回るようにしてしまった。本来、内燃機関というのはそんなに可変速でばんばん使うようなものではなくて、一定速度で一定の力で据え置き型でというのが非常に適していると思うのですが、それが何千万台と走るようになって、しかも大変信頼性が高いというのはものすごい技術であると思います。ひとえにエネルギー密度にかかっているのではないかな。



自動車燃料の将来予測

こういうこともわりとよく言われます。われわれはいま2000年ぐらいにいますのですが、2010年、2020年、2030年、2040年ぐらいしますと、これは定常状態になるような絵が描いてありますけれど、これは必ずしも賛成する人が多いわけではありません。こういう燃料電池車というのがだいたい出てきて、ピュアなやつはそれなりの市場、それからハイブリッド車はかなりいくでしょう。いわゆるふつうのガソリン車はとても少ないシェアになる。こんなことがよく言われます。われわれの研究はモーターを使ってくれさえすればよろしいということになりますが、この辺からこのあたりまではだいたい使えるような研究です。したがってエンジンはちょっと困るのですが、電気モーターで動いてくれさえすればいろんなことができますということですよ。

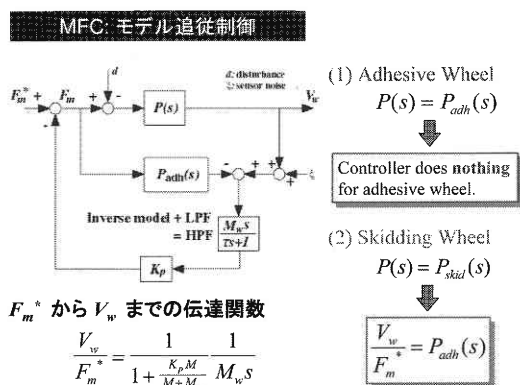
(スライド) (省略)

これも基礎知識になってしまいますが、例えばガソリン

軽いような気がいたしますが、もっと軽くできるかもしれません。ちょっとわかりません。これは定格のいい方によっても変わります。ただトルク応答の速さは明らかにモータのほうが速くて、たぶん1ミリ秒のオーダーで電流制御はできます。こういうアクチュエータの応答が速くなるとフィードバック制御ができるようになります。フィードバック制御によって機械特性が電気制御によって変わるといふ、そういう新しいメリットが出てきます。

(スライド)(省略)

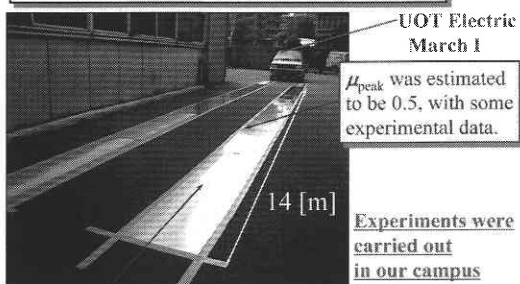
それがこの話ですが、数式などが出てきてフォローしていただくのも……。これはシャーシの運動方程式です。これは車輪の運動方程式です。このぐらいの非常に簡単なものを使うと、いろんなことができます。スリップ率というのがあって、これはタイヤから路面に伝わっていく力のところにスリップ率というのが入ってきて、ここが非常に非線形の特徴をもっています。



でもあまりそういうことは気にしないで、ここに車体をそのままってきて、この辺、中はコンピュータでやるわけですが、車体のモデルみたいなものをもってきて、車輪速を比べて、実際の車輪速のほうが大きかったら滑っているのだから、ここはトルクをひいてやれと。これだけの簡単な制御を車輪ごとににつけます。これは非常に簡単な制御ですが、これだけやったおかげで非常に変わってまいります。

空転防止制御実験

For skid experiments, slippery test road is required.



Aluminum plates. We spread water on these plates.

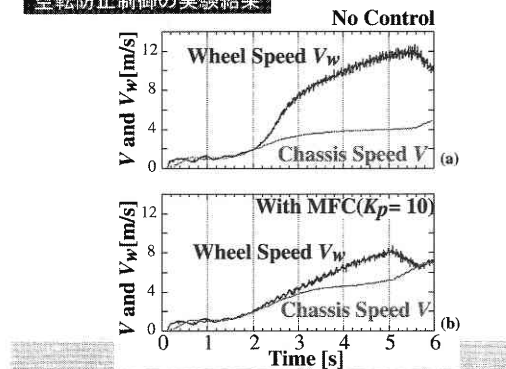
これはお金がなかったころの、といってもいまもべつにあるわけではありませんが、空転防止制御の実験の様子で、

これは2万円なりぐらいの路面をつくりまして水をまいてアルミ板をはって、向こうから「東大三月号I」をつくって走らせます。何もしないふつうの電流制御をやったものと、ちょっと先ほどの制御を付け加えたものを比べてみますと、

(スライド)(省略)

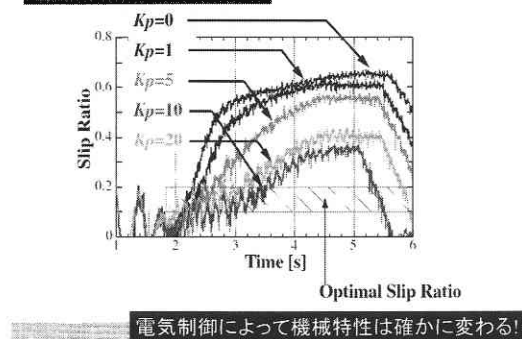
この場所はいま武田先端知ビルが建っている場所です。昔は2,000トンのプレス機があったのですが、こんな弥生キャンパスのところ。おもしろくもなんともないのですが、こんなような実験をなんべんも繰り返してこんな結果が得られます。

空転防止制御の実験結果



例えば、これは何もしていないアクセルペタルの角度に応じてトルクを出すものなのですが、ここから滑りやすいところに入ると、ぱっと車輪が空転というか速く回ります。おかげでシャーシもあまり速く加速できません。ところがちょっとした、モデルフォロ잉コントロールもどき、モデル追従制御もどきなのですが、それを入れますと全然滑らなくなります。その結果ちゃんと加速することができます。

空転防止制御の実験結果



電気制御によって機械特性は確かに変わる!

しかもその特性はその制御のパラメータを変えるとちゃんと変わることがわかります。こういうことも制御にとっては非常に大事なので、うまくいったというだけではなく、アジャストできるというのも大事です。

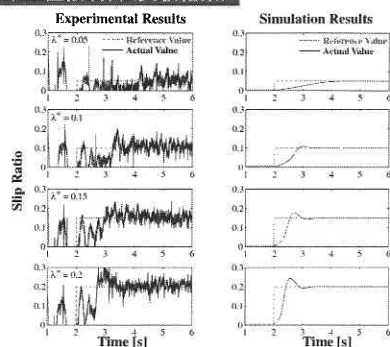
言いたいことはこれなのです。電気制御によって機械特性は確かに変わるということです。こういうことはわれわ

れよく経験しているのですが、実際に見せられると、本當かいなと思いますでしょう。例えば車輪と路面のあいだの滑りやすさなんていうのはタイヤの材質と路面の状態が決まるのではないかと多くの方は思っているのではないかと思います。それがどうしてモータ制御によって変わるのだということです。ところが実際に変わるわけです。だからこういうのが大変おもしろい。だから電気のほうが機械よりも偉いというつもりはありませんけれども、そういうことが確かにあります。

(スライド) (省略)

ではもうちょっとドラスチックなことをやってみようかというので、今度はスリップ率自体をこうやってフィードバックコントロールして非常に強いPI制御なんかを入れてしまいます。これはデモンストレーションのためにやっているようなところがありますが、スリップ率をもってきて、目標値と比べてモータトルクを出してやる。こういう制御をやりますと、もしこの辺がガソリンエンジンだったとすると、そこに数百ミリ秒の遅れが入るわけで、こんなフィードバック制御は必ず不安定になって発振してしまいます。ところがこの遅れが小さいとゲインをどんどん上げていくことができ、スリップ率なんていうのは意のままに制御することができます。

スリップ率の直接制御(実験結果)



これはそのデモンストレーションなのですが、こちらがシミュレーションだからきれいです。実際はあまりきれいになりません。でも例えば λ^* というのはスリップ率の指令値ですが、0.15、横軸は時間です。この0.15になりなさいよという、しっかり0.15になっています。スリップ率を0.15に保つと車はばつと加速していきます。しかも0.15という値は $\mu\lambda$ カーブというスリップ率と摩擦係数のカーブの不安定領域なんです。ピークより右側のところにも保つことができます。こういったことができるようになります。

これをいろいろ使ってみましょうということで、これは「三月号II」のほうでの実験です。これは油圧と併用したような形でちょっと違うのですが、電気制御のよさをうまく入れた新しいブレーキシステムというような形でやっているもので、これもやはりモータトルクの非常に速い特性を利用しています。

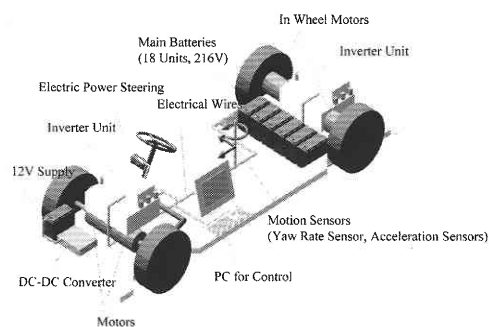
ハイブリッドABS(制動試験)



これは黒磯のほうにあるブルーピンググラウンド、あるタイヤメーカーのコースを借りているのですが、そこでの実験結果です。

こうやってちゃんと停まるのです。運転しているのはプロフェッショナルのドライバーなので本当に同じように運転してくれているはずなのですが、制御なしというのはアクセルペダルに応じてトルクを出しているだけ、右側のほうはちょっとした制御を車輪ごとにつけているものであります。1つだけしかお見せしませんでした、こうやって電気制御によって機械特性は確かに変わる。

構造・設計概要



もうちょっと二次元運動というのをやりたいということとで先へいくのですが、たぶんここで製作記みたいなのがあります。ここはスライドだけぱっぱと見ていただければと思います。

われわれは電気屋なものですから機械ものをつくるというのはものすごく不得意なんです、なんとかがんばって3年、4年かかって学生さんたちとつくってきたというメーカーキングオブUOT マーチIIという話です。

ホイールの中にモータを入れるという試みは世界的にはときどき見ることができます。ただあまりいいもののができなかった面もあって、最近東洋電機さんとかブリヂストンさんとかちゃんとつくるようになって、またトヨタさんのファインNなんていうのは非常に小さいモータを車輪の中に入れております。そういう方向にあるのではないかと私は思っているのですが、まだそんなにポピュラーではありません。カナダのM4というハイドロケバックとい

駆動系構成(1)

4基のインホイールモータを使用し、完全独立4輪駆動



【インホイールモータ】

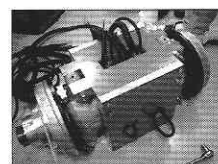


【ベース車両の日産マーチ】

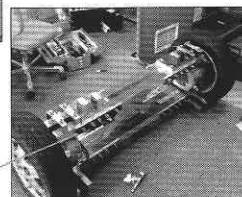
Drivetrain		4 PM Motors
Max. Power	36[kW](48.4[HP])	
Max. Torque	77[Nm]	
Gear Ratio	5.0	
Battery		Lead Acid
Weight	14.0[kg] (1 unit)	
Total Voltage	228[V] (19 units)	

Base Chassis		Nissan March K11
Wheel Base	2360[mm]	
Wheel Tread	1365/1325[mm]	
Total Weight	1400[kg]	
Wheel Inertia	8.2[kg]	
Wheel Radius	280[mm]	

駆動系構成(2)



【前輪モータ】
シャフトを介してホイールと連結モータは、固定用のマウントによってエンジンルームに固定されている。



【後輪モータ】
右のようなユニットを、サスペンション下に固定

インホイールモータ

う電力会社が援助していたところが、M4ですからモータが4つあるという、そういうようなおもしろい会社がこういったものをつくってきました。

(スライド) (省略)

東京電力の「IZA」あるいは国立環境研「ルシオール」、こういうものは確かにタイヤの中にモータを入れてきたのですが、IZA なんかもいまは東京電力の川崎の電気の資料館のところに飾ってくれているわけですが、本当はいま動かそうと思えば動きます。IZAのモータは大変いいモータでありまして、実はギアがありません。ダイレクトドライブになっています。したがってモータの特性というのはそのまま路面に伝わるすることができます。われわれの車はギアがちょっと入っている。ギアが入って、しかもプラネタリーギアなんかが入っていると、あいだに変なものが入ると、フィードバック特性、非常にいいものが出るといっても、ちょっとケチがつくわけです。IZAのモータは、アウターロータのダイレクトドライブなものですから、モータ特性というのは本当に伝わります。これは少しエンジンのものと常識的な面が変わる。つまりエンジンの振動とかそういうものはなるべく車体や路面に伝えないほうがいいのだと思いますが、モータの場合ちょっと変わってきます。そういうところも設計の質が変わるのではないかと思います。IZA、それからルシオール、これをそのまま使ってわれわれがぐちゃぐちゃにするわけにもいきませんので、初めから自分たちでつくらないといけないというので、

(スライド) (省略)

こんな絵を描いてつくってきました。たまたまこのころになりますと、車はあげますよというので、ありがたくいただきまして、10キロぐらいしか走っていない車だったのですが、下にもぐってバラバラにしました。

そしてモータを入れるフレームをつくって、こういうのもほんとに手探りでやりましたが、初めから生研に来ていれば、ここの試作工場は非常にしっかりしているので、そこで一緒にできたらもっと楽だったのかなとも思ったりするのですが、これは大変苦勞して、ジュラルミンを切り出してつくりまして、ここにモータを入れてあります。これにタイヤがつかます。前のほうはステアリングが切れなく

なるので実はインホイールは諦めて、モータボックスをつくって短いシャフトで駆動するという構造にしました。

(スライド) (省略)

計測制御系。これは実験車ですので、いろんなものをつける。RTリナックスなどを使って、こういうところは電気屋なのでわりと得意なのです。こういうコンピュータコントロールにしているんなセンサをつける。ジャイロセンサなんかもつける。第五輪、ちょっとカッコわるいですが、自転車の車輪みたいなものがついていますが、四輪駆動にしますので滑らない車輪というのがどれだかわからなくなってしまいますので車速を測るためにこんなものをつけてモニタリングをしています。ただこういう車速というのは、ぼくは測らなくてもいいのではないかと思います。自動車屋さんや機械屋さんへ聞きますと、車速というのは非常に大事な状態変数のひとつだということで必ず測ったり推定したりするのですが、本当はそれはいらないのではないかと思います。よく議論してみると、どうして車速車速と言うのですかとお聞きしますと、昔から車速は非常に大事な状態変数なんだよとおっしゃるので案外そんなものかもしれませんと思ったりしていますが、いずれにしてもこんなようなことをたくさんつけます。

(スライド) (省略)

こういうところは得意なんです。画面をつくったり電子的な制御系をつくったりする。これはあるコンピュータコントロールをして、それを実験しているのですが、ばちゃばちゃとやってリターンをしたら走り出して、危なくなったらエスケイプキーを押すと停まるというような、そういう車です。というのは本当はウソでブレーキで停めます。

(スライド) (省略)

製作・完成後の風景。こういうところはまったくだめなので、モータを入れようと思っても重たいものですから入るか入らないかというのは図面をみてもわからないので、こうやって発泡スチロールで同じものをつくって、こっちは軽いですから、入れてみてステアリングが切れるかなというようなことを確かめて、大丈夫そうだったらこっちをもっていって、こんなのでインストールして、よしうまくいったなんて非常に危なっかしいことをやってつくりました。もう二度とごめんです。いま3台目ができて、それも

見ていただけるようにガレージのほうにはいまありますが、それはあるメーカーと一緒に作りましたが、

(スライド) (省略)

ここら辺は全部手づくりでやってきました。

(スライド) (省略)

この辺、私は大変おもしろいけれども……。飛ばさせて

いただいて、

(スライド) (省略)

とにかく動いた最初の映像がこれです。これはちょうど21世紀の幕開けなのです。2001年1月11日。ちょうどこのころに蓮見総長が時計台のところで東大憲章を高らかに読み上げてライトアップしたりしてたんですが、われわれはこのテントの中でカップヌードルなんかを食ってがんばっていたのです。ついに完成というので、これもコースにもっていったドライバーに運転していただきましたら、本当にこれを初めて走らせたのですが、ちょっと踏んでみましょうなんてうわーと踏んだら100キロぐらい出ちゃって、本当に走ったという、これは大変感激的な映像です。

車両運動制御とその現状

【2輪モデル】

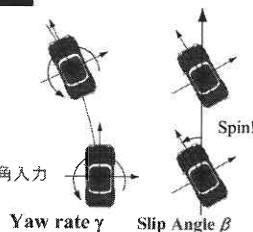
$$\dot{x} = Ax + B\delta, \quad x = \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -2\frac{C_f + C_r}{mV} & -1 - 2\frac{L_f C_f - L_r C_r}{mV^2} \\ -2\frac{L_f C_f - L_r C_r}{mV} & -2\frac{L_f C_f - L_r C_r}{mV^2} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 2\frac{C_f}{mV} & 2\frac{C_r}{mV} \end{bmatrix}$$

【直感的理解】

- β の安定性 → スピンや横滑りの特性
⇒ VSCなどで実用化 (Vehicle Stability Control)
- δ_f から γ への伝達特性 → 操舵応答性
⇒ 理論的にはDYC (Direct Yaw Moment Control) など



これを使って車両の二次元運動をやりたい。これは私はどうもあまり興味がなくて、これは自動車メーカーさんなどもよくやっていらっしゃる、いわゆるDYCとかそういったような分野になるわけですが、ここはふつうのガソリン車でもかなりできます。もちろん電気自動車にすればうんと簡単にできるということは間違いなのですが、私としてはそんなに興味がなくて、むしろ前後方向に滑りにくくなるという、そちらのほうが本当は興味があるのですが、学生さんは大変これを好きで、この辺になりますと非常に意欲をもってやってくれます。

(スライド) (省略)

それはちょっとアカデミックな感じになり、こんな式が出てくる。これは二輪モデルといって車輪は四輪あるのですが、自転車か2つ並んでいるというようなモデルで、 β と γ というのを状態変数にして、こんな運動方程式みたいなもので書くことができる状態方程式。ここのAマトリクスB、こういうところに車体の速度というのが入ってくるのですが、これもあまり長い時間を相手にしなければ速度は一定だと思っていろいろいじることのできる線形の状

態方程式になっています。大事なのはこの β と γ という変数で、 β というのはこんなのです。車体の滑り角といって、自動車はこちらを向いて走っているのですが、実は傾いているという、こんな状態ありますね。真っ直ぐ向いている方向に動くではありませんよね。コーナリングのときなどちょっと内側を向いていてぐーっと曲がっていく、その β 。この β というのがあまり大きくなりますと車体がぐるぐると回ってしまいますので大変危ないわけですが、この β というのはなるべく小さくするほうがいいけれどもゼロにしてしまうと曲がることができません。

γ というのは重心回りにぐるっと回るヨーレート、回転速度のようなものでありますが、これを2つの状態変数とする。よく言われるのはたぶん β を安定にする。これはVehicle Stability Control、こういったものはこの β をうまく安定にして、これが発散しないようにする。これはスピンや滑りの特性にあたります。もうひとつはわれわれのハンドルの角度から γ までの特性というのをなるべく線形にしてやる。そういうことをすると大変高級車みたいな感じがして車がいうことを聞いているというような感じになるのだそうです。これが操舵応答性といわれているものです。主にこの2つをなんとか実現しようというのですが、これは電気自動車の四輪駆動だと非常にやりやすくなるというのは直感的にも明らかです。例えばこの周りにぐるっと回るような力というのは4つのタイヤのところで発生する力が全部独立に制御できるわけでありますから大変簡単です。エンジンの力を分配していく、しかもプラネタリーギアのようなもので分配するのは大変難しいわけですが、電気自動車だといきなりトルク指令をぼんと出せばいいわけですから、例えばその場でぐるっと回るような力だとしてすぐ出ます。そんな意味でこういった二次元制御というのは大変やりやすくなるだろうということはわかります。

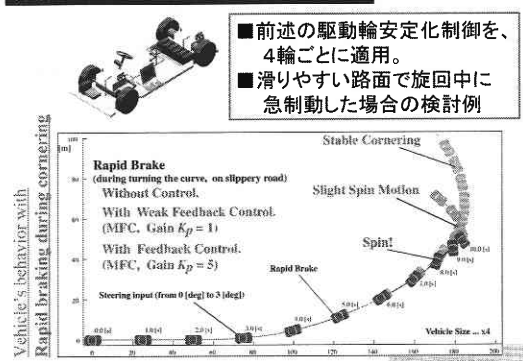
(スライド) (省略)

とはいってもこういった車両の安定化のアプローチというのはいろんな人がいろんなことをやっているのでもこの辺もいろんな人とよく議論をして、いろんな考え方がありますので、こんなことを勉強しながらやっているというような感じです。

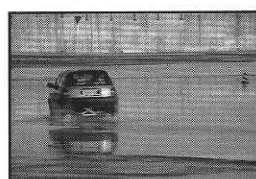
いずれにしてもちょっとシミュレーションと実験をお見せいたしますと、こんな感じです。これはシミュレーションなので、この辺からぱっと走ってきて、ここでステアリングを切って急ブレーキをする。そうすると何もしないとぐるぐるっと回ってしまうのですが、少し制御を加えていくと滑らなくなっていくので曲がることができます。

これは実験結果です。スキッドパッドという水をまいて大変滑りやすくなった路面をふつうに運転してくださいねといって回っているのですが、ドライバーもさすがにちょっと苦しくなってこの辺で姿勢を立て直している。よく見ていただきますと、車がクリッとしますのでおわかりいただけるかと思います。あれを放っておきますと、そのままどこかへ行ってしまいます。ところが各車輪ごとの制御を前

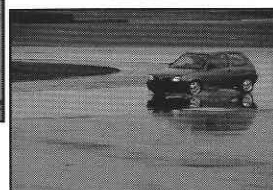
各輪のマイナー制御と車体の2次元運動



制御実験の様子



制御なし
(後輪がロックし、
姿勢が不安定になったのを
ドライバがたておしている)

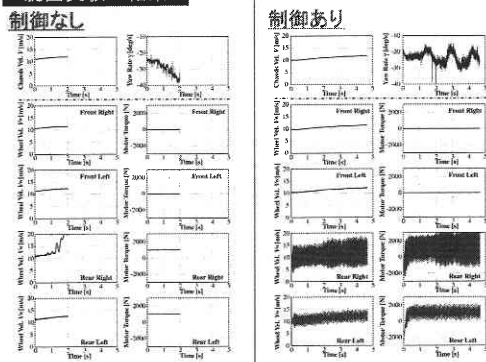


制御あり
(安定な旋回に成功)

【2次元運動における
制御性能の検討】
各輪にマイナーな空転
防止制御を適用
円旋回試験路において
旋回安定性の向上を
確認しているところ

後方向に滑りにくくするというのをやると、このように安定に回ることができます。これはいわゆるDYCとかそういったものとよく似ているようにみえますが、上位のコンピュータが何かやっているというわけではありません。車輪ごとに滑りにくくするという制御を独立につけているだけなのです。そういう意味で車輪回りがある意味インテリジェントになっているというようなアプローチです。だから上位コンピュータではありません。そういうところはちょっと従来のものと違うかもしれません。

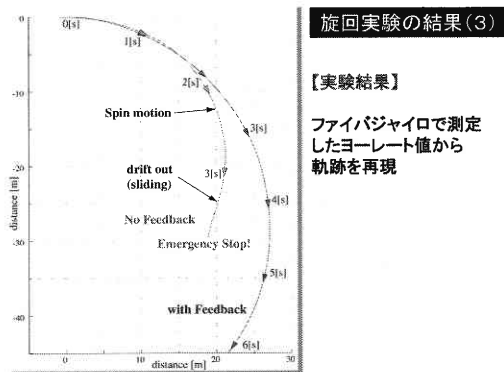
旋回実験の結果



これはグラフです。とばします。

これは上からみたもので、こういうふうになって、ここ
で危なくなると停まったりするわけです。これは別の実験
です。こちらはずっと安定に回っていくことができます。
(スライド) (省略)

これはジャイロがちゃんと働いている、という図です。



旋回実験の結果(3)

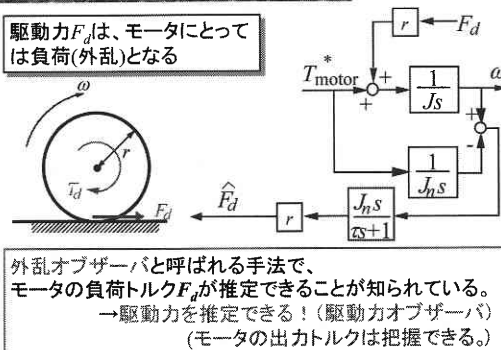
【実験結果】

ファイバジャイロで測定
したヨーレート値から
軌跡を再現

(スライド) (省略)

最後に路面状態推定という3つ目の特長, 出力トルク値
がよくわかるという, それを利用したら何ができるかとい
うのですが, 路面状態の推定がよくできるという, その話
です。

駆動力オブザーバによる駆動力推定



これは制御のブロック図なのであまりお馴染みではない
方もいらっしゃるかもしれませんが、車輪の周りの力学的
な環境を考えてみますと、タイヤから路面に伝わっていく
力というのを、いま F_d と書いてあります。モータのトル
クは T_d で F_d とのが下に伝わっていく。実はモータの出
しているトルクとタイヤから路面に伝わっていくトルクは
別ものです。ブロック図で描いてみるとこんな感じになっ
ておりまして、モータの出すトルクとタイヤから路面に伝
わっていくトルク、これは引き算したほうがいいかもしれ
ませんが、合わさって車輪を駆動する。こんな形になって
います。

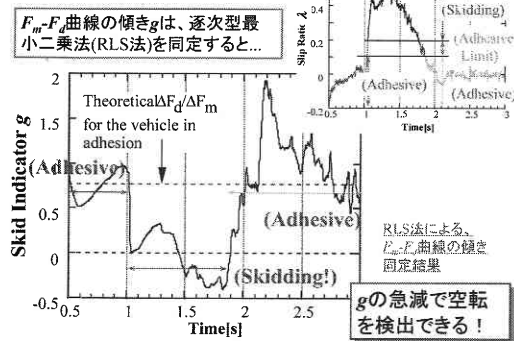
われわれは実はメカトロニクスのほうでよく外乱オブ
ザーバというのをを使うのですが、それに類したような技術で、
この F_d というのはちゃんと推定することができます。こ
の辺はコンピュータの中でやるわけです。どうしてそれが
できるかというと、モータトルクがわかるから、これだけ
モータが力を出しているのに実際の車輪はこういう挙動を
している。だからその差というのは何か別のものだろう。
それはなんのことはない、この場合は路面に伝わっていく
力です。したがってモータはこのぐらい力を出しているの
に路面にちゃんと伝わっているかどうかということを正確

に知ることができますので、では滑っているか滑っていないかという判定ぐらいはすぐできるだろうということなのです。これを駆動力オブザーバ、観測器と呼ぶことにします。

(スライド) (省略)

これは空転検出器、要するに ABS などに使うための空転検出というのが簡単にできます。

空転検出法の実験結果



これは先ほどの第五輪というのをを使って車速を測りながら車輪が滑っているかどうかをみています。横軸は時間、縦軸はスリップ率。スリップ率が上がりますと滑っているのです。この辺から滑りやすい路面に入ってしまった、実際に車輪は滑っているのですが、これは第五輪を使っていますのももちろんわかります。こちらのほうは第五輪を使っていないので、モータの周りの電圧とか電流だけから判定をしています。

先ほどの駆動力オブザーバを使って、これだけ力を出しているのに路面に力が伝わっていなければ滑っていると、そういう判定をしているだけで、これはぱっと非常に早くわかります。これだけの情報でもウルトラ ABS 的なシグナルとしては十分使えるのでしょけれど、もうちょっとまじなことをやってやろうと。

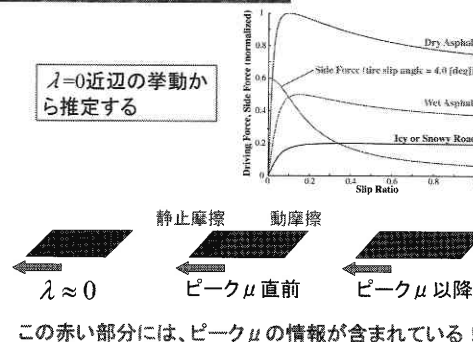
(スライド) (省略)

この辺、路面状態推定といってもいろんなアプローチがあります。こういうスリップ率と摩擦のカーブ、これも路面状態によって変わりますが、このピーク値を推定しようとかこの傾きを推定しようとか、とにかくわれわれはいま車がどんな状態にいるかというのをなんとか推定をする。

一番おもしろそうなものだけお見せいたします。これは例えばスキーなどに行って山道を運転しているときに真っ直ぐ走っているときに、知らぬ間に路面が凍っていたというような状況です。次にハンドルを切るとつるつる滑ってしまった。大変危ないし場合によっては谷底に落ちてしまうわけです。そういうときに真っ直ぐ走っている状態で、いま路面が凍りましたよというようなことを教えてくれればすごくいいと思います。そういうことができるかというのですが、これはどうもできそうな感じがします。

これは車輪と路面とのあいだの接触面、ハガキ 1 枚ぐら

路面状態推定への適用(山崎法)



いといわれます。滑っていないときには全部くっついていますが、このカーブでいうと、こちらを上がっていくにしたがって滑っている部分が浸食をしてくまして、このピークを超えますと全部滑っている、こんな状況になります。このときに例えばふつうはこんなような状態になっているのですが、このときにどれだけの力が出ているかというのを解析をしてみますと、この中にピークの情報が入っています。

(スライド) (省略)

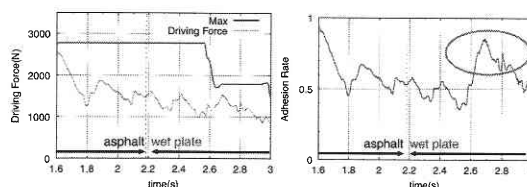
これはブラシモデルという、この辺はちょっとややこしい話なので、ざっと見ていただければと思いますが、こういうような計算をしていきます。

(スライド) (省略)

タイヤと路面のあいだの物理を見ていくと、こんな式が出てきます。この F_d というのは先ほど私が申し上げたタイヤから路面に伝わっていく力なのですが、これがわかりますので、こいつを逆に解くと、この路面の最大摩擦係数はどのくらいか逆に計算することができます。ただこれはものすごいノイズになりますので実際には適応同定とかそういった統計的な手法を入れますけれども。

路面状態推定への適用(実験結果)

乾燥アスファルト路面から濡れたアルミ板へ

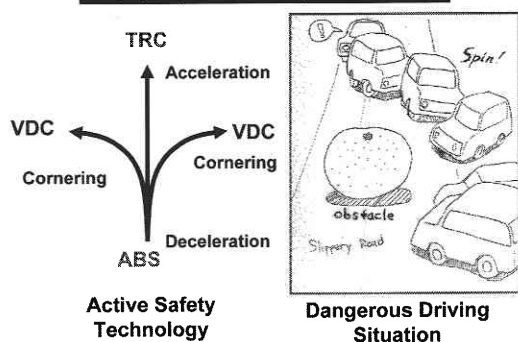


最大駆動力(ピークμ)推定値 駆動力/最大駆動力

♪ ♪ いますべりやすい路面に入りました!

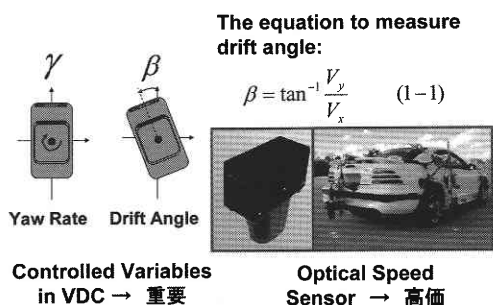
いずれにしても例えば、こんなことができます。ここはアスファルト路にいるわけですが、ここでウェットなところに入って、ちょっと推定の遅れがありますが、ここでこれがほんと下がります。そうするとこれをつかまえて、これを見てナビさんみたいなやつが、いま滑りやすい路面に入りましたということが出来る。こんなようなシステムです。これはそのほかにもいろいろ使えるでしょう。

車体すべり角 β の推定



最後にもう少し最近の研究の話をちょっといたします。先ほど β と γ という話をしましたが、この β という車体の滑り角、こいつを推定するという話です。これは自動車屋さんもずいぶん苦労してやっておられるというのを聞いておりますが、これも実はわりと簡単にできそうな気がいたします。

β 推定の必要性



β というのは車体の運動制御にとっては大事な変数になるわけですが、実際に測るのはこんな大がかりなセンサがいります。地面をオプティカルに画像処理をやって出してくるようなセンサで、500万円ぐらいします。確かにいいのだとは思いますが、車より高いので、こんなものをつけてもあまり意味がない。これを何も使わないで推定をしようということです。できるかというのですが、これは実はできまして、横方向の加速度センサというのを一緒に使っ

(スライド) (省略)

例えば横方向の加速度というのは車体の速度と β の微分と γ と、こんな式がある。サイン、コサインが入りますが、これを見て、 β というのは計算できるじゃないかという人は思います。私がよく言っているのは機械工学者と電気工学者の違いというのはこら辺にあるのではないかと思います。機械工学者の方、ひょっとしてたくさんここにいらっしゃったら怒るかもしれません。機械屋さんはこの式を見て、 β を推定するにはどうしたらいいか。たぶん β ドットイコールという式に直して積分したりす

るのではないかと思います。積分するとドリフトが出てくるからときどきリセットしようとかローパスみたいにしてもとか、そんなふうに考えていくのではないかと思います。電気屋さんはあまりそんなふうに考えないですね。もちろんオブザーバみたいなものをつくったらいいいじゃないの。要するにあまり真面目じゃないものですから。きちんと測っていかうとか、誤差が出てくると加速度センサが悪いのだとか、機械屋さんはだいたいそんなふうに考えて、真面目にやっていくんです。どうも電気屋さんはそう言わないで、測れるやつだけ使ってなんか辻褄あわせればいいじゃないのみたいに考えるから、

(スライド) (省略)

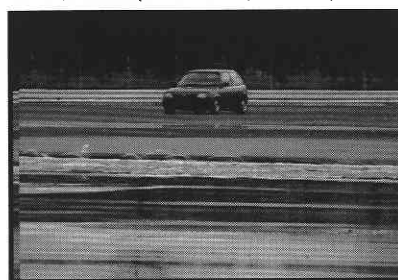
こんなようなものをつくります。こんなところにオブザーバゲインをかけてフィードバックをもってきて、これで補正してやればいいじゃないか。なんのことはない、これでちゃんといくのですが、こんなものがいまだでなかったようです。

(スライド) (省略)

ついでにオブザーバをロバストにしましょう。こんなところのオブザーバゲインの選び方をちょっと工夫すると、例えばコーナリングパワーが違って、とてもいい推定が出ます。

実験的検証

・ スピンする旋回 ($V_0=50\text{km/h}$, $\delta=20^\circ$)



これは実験だけお見せします。この辺はちゃんとフォローしていただく必要は全然ないので、なんとなく小賢しそうな数式でも電気自動車の場合にはそれなりに適用できて、ちゃんと言うことを聞くよというようなことを見ていただければ十分です。

(スライド) (省略)

スピンをしないような旋回。こういうのをいっぱいコースにいつてとってまいります。これはスピンする旋回です。すぐにくるくる回ります。こんなところをくるとすぐ回ってしまいます。こんな適当な走り方をしてデータを持って帰って研究室のほうでいろいろやってみます。

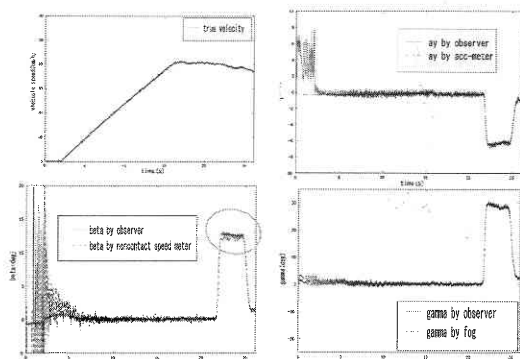
(スライド) (省略)

この黒いやつというのが500万円のオプティカルセンサでもってきた本当の β なんです。この赤いやつ、これはわれわれのつくったオブザーバでの推定。きちんと推定したことがわかります。この辺でハンドルを切っているから β も増えています。これはむしろオプティカルセンサ

のほうがノイズが大きい。オブザーバがノイズも一緒にとってしまった。

(スライド) (省略)

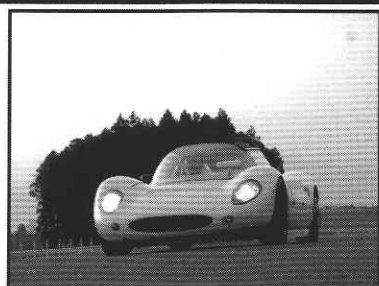
これはオブザーバゲインの選び方ですが、いろんな選び方があります。冗長性がありますのでそれをうまく選ばないとパラメータ変更に対して弱くなったりするのですが、それでも強くすることもできる。



実験Cの結果 非線形領域での β の推定に成功

もっと激しくハンドルを切っても、先ほどのスピンする旋回などでもちゃんと推定できる。これがついこのあいだ出たある卒論生の実験結果ですが、このくらいちゃんと推定できるのであれば β 推定はどうもうまくいきそうな気がするので来年はこれを制御に使って走安性みたいなことに使ってやろうかと思ったりしています。そうすると四輪駆動というのがいきますので。

計画中の新EV (Cadwell-EV, 愛称 白)



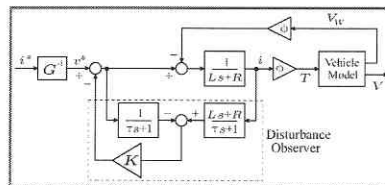
2004.3 完成。

最後は、これも展示で見ていただいています。最近つくりましたCadwellという通称「シロ」なんていっていますが、レーシングカーみたいでちょっとカッコいいのですが、スピードが出るかどうか分かりません。カッコよく見せて時速40キロぐらいしか走れないかもしれない。

これはまさに私がずっとやりたかったことを実現しようと思っているものでありまして、こういうトルクの垂下特性を利用した滑りにくい車をつくるというものです。専門的になってしまいますが、最近の電気自動車に使われているモータは、必ず電流制御ということをきちんとつけています。したがってもとの直流電動機、昔のモータ

外乱オブザーバを用いたスリップ抑制性能の調整

- トルク(電流)垂下特性は、電気自動車の安全性や乗り心地などに影響を与える可能性があるため、垂下の強さや速さは自由に調整できることが望まれる。
- しかし、一般にトルクの垂下の大きさは、モータのリアクタンスなどの物理定数によって決まってしまう。
- そこで、電気自動車に一度搭載したモータを交換することなく垂下特性を調整するために、外乱オブザーバを用いた手法を提案する。



がもっていたような電圧制御のタイプというのは、もうなくなっている。この話はなかなか難しいでしょう。最近の電気自動車に使っているモータはパーマネントマグネットを使った電流制御というのをきちんとやっていますので、そんなものがはじめにありきで全部始まるんですよ。

そうすると例えばこれなどを見ていただきますと、電流をドライバーのトルク指令に応じてアクセルペダルに比例させて流しているんです。ここで滑りやすい路面にぱっと入っても、しばらくは電流というのはそう簡単には変わりませんからずっと続きます。そうすると車輪速はぱっと上がって行ってしまいます。

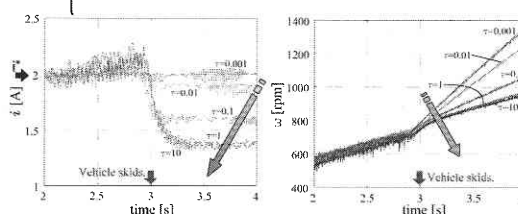
ところが同じ電流を流すにしても、電圧タイプ、いわゆる直流分巻電動機、よく鉄道にも使われてきました。そういうもので同じ電流を流すような電圧を逆算してそれを出していると、こういうところで車がぱっとミクロに滑ったらトルクがさっと下がりますので、このまま下がればなしになっていますが、実際はここでまた再粘着をする。そういうものです。つまり人間からみたときにはちゃんと人間の言うことを聞くけれども、車輪がちょっと滑ったりしたときには、さっとトルクを下げるという別々の特性、これを制御の言葉でいうと目標値応答と外乱応答といいます。別々であるということをよく認識すれば、こんなものがつくれる。しかもこれはモータのもとの性質をうまく利用しているようなものです。ただ、最近はACモータ、こういったパーマネントマグネットモータを使うのはかなり常識に近くなっているんで、直流モータがまた復活するということはあまりあり得ないと思いますので、これを交流モータでいかに実現するか。

時定数 τ によるトルク(電流)垂下特性の調整

外乱オブザーバのゲインを $K=1$ に固定して

時定数 τ を0.001から10まで5通りに変化させた。

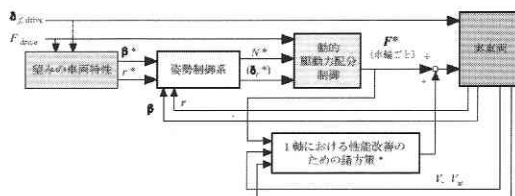
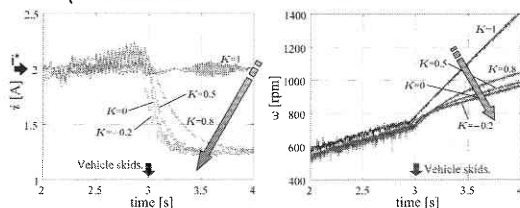
- 時定数 τ が大きいほど電流の垂下が大きくなっている。
- その結果、モータの回転速度は急激な上昇を抑えられている。



ゲインKによるトルク(電流)垂下特性の調整

外乱オブザーバの時定数を $\tau=0.001$ に固定して
ゲインKを変化させて実験を行った。

- ゲインKが負方向に大きいほどトルク(電流)は急激に減少していることが分かる。
- その結果、ゲインが負方向に大きいほどスリップ発生後のモータの回転速度は急激な上昇を抑えられている。



提案する車両のモーション制御系

* モデルフォロ잉制御
最適スリップ率制御
車速適応化制御

これも先ほどちょっとだけ申し上げましたが、こういう調整要素というのをちょっと付け加えて、これもまったく電気制御ですが、こういったところの時定数、ゲインというのをちょっと調整すると、先ほどのトルク垂下特性は調整することができます。こういうことは大事なことなので行き先が変えられたり、トルクの発散の状況なども変えられたりします。これもゲインによってまた変わります。こんなことをいまもろんでつくっていますが、車自体ができたばかりでありますので、これからこれをしていきたいと思っています。

まとめですが、いずれにしても、EVにおける電気モータの高制御性というところにおもしろいところがあって、それはこの3つであるという話をしました。たぶん未来の車は電気で作ると思います。これはかなり明らかだと思いますが、であれば制御というのがおもしろいので、みなさんもぜひ電気と同時に「制御」という言葉をどうぞごひいきにということでもあります。

(スライド) (省略)

これはトヨタの中村さんというFCをやっている方のOHPをばくってきたのですが、私は大変好きで、技術革新の特徴というのはこんなところにあるということです。どれもみなさん思い当たるのがいっぱいございますでしょう。全部特徴は同じだということです。高効率、長寿命、小型、軽量、量産、つまり革新は目的は同じだが原理はまったく異なるところに生ずる。だからたぶん電気モータになるのではないかということです。これを言うと内燃機関をずっとやってきた方、生研にもたくさんいらっしゃったの

ですが、怒られるのですが、どうもそうじゃないかと思えます。

電気自動車ならではの制御のかずかず

- タイヤをすべりにくくする制御
電気モータの特長を生かした制御の基本として、もっとも特長が表われる。
(1) モデル追従制御 (MFC)
(2) 車輪のスリップ防止制御
(3) DYCなど上位制御系との協調
(4) 車体速度を用いない空転検出
- ブレーキ関係
電気モータの特長を生かした制御。
(1) 純電気式ブレーキ
(2) ハイブリッドABS
(3) タイヤの発生力の直接制御
- 2次元運動制御
 γ と β の制御をいかにうまくミックスさせるかという問題。基本的に操舵角から γ への伝達特性線形化と、 β のゼロ化制御。
(1) AFSとDYCの協調制御
(2) β 推定とその制御
(3) 動的駆動力配分制御
- (4) 荷重変動に応じサスペンションとの協調考えた駆動力配分
- 路面状態推定
(1) μ 勾配推定
(2) 最適スリップ率推定
(3) 最大摩擦係数推定
(4) 路面状態推定を利用したDYCなどの高性能化
- 人間は車に何を指令すべきか
人が車に指令するのはトルクか速度かあるいはその中間か。ドライバは車からどのような情報をもとらうか。
エンジンとモータのセンス良いハイブリッド化によって、運転フィーリング向上、好ましい制動、旋回特性を作る。
- 電動パワステ
電動パワステは、路面や車の状況をドライバに伝えるデバイス。

電気自動車ならではの制御の数々です。これは全部説明できませんが、タイヤを滑りにくくしたりブレーキの関係、二次元の運動制御、路面状態推定、人間は車に対して速度の指令をしているのかトルクの指令をしているのか、あるいはパワーステアリング、人間機械系の最たるもの、こういうところ大変おもしろいものがある、こういったところに必ず電気制御というのが生きていくと思っています。

レポート問題

- (1) 内燃機関自動車、電気自動車、ハイブリッド車、燃料電池自動車を比較しながら、各々の特徴を述べよ。
- (2) 広い意味での電気自動車は普及するであろうか。根拠を示しつつ、自分の意見を述べよ。
- (3) 講義を聞いて新しく得た知見があれば述べよ。また、電気自動車に対する講師の考え方や研究について意見を述べよ。

日本自動車研究所のHP (<http://www.jari.or.jp/>)を参照のこと。

これは講義で使ったレポート問題。もしご興味がありましたら日本自動車研究所 (JARI) のホームページがあり、こういったものを比較している。きょう私、大変偏った意見を述べましたので何か非常におかしいと思われる方は、JARIのホームページを見てください。非常に公平なホームページになっておりますので、電気自動車、ハイブリッド車というのがどんなふうな現状にあってどんなふうなふうは思われているのだということが書かれています。これは学生に出したレポートそのままです。もちろんレポートを出していただければ拝見いたしますけれども、本当に電気自動車は普及するであろうかちょっと考えていただければ幸いです。

(丁)