

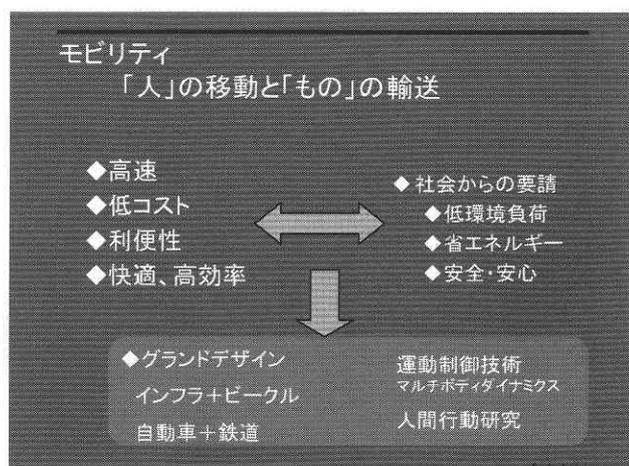
生研公開講演

「新世代のモビリティを担うビークル運動制御技術」

須田 義大 (東京大学生産技術研究所 機械・生体系部門 教授)

おはようございます。ただいまご紹介にあずかりました須田でございます。

今日は、「新世代のモビリティを担うビークル運動制御技術」ということで、私の研究室で主にやっている、少し先に実用化したらいいなというような研究内容の話をご紹介したいと思っています。



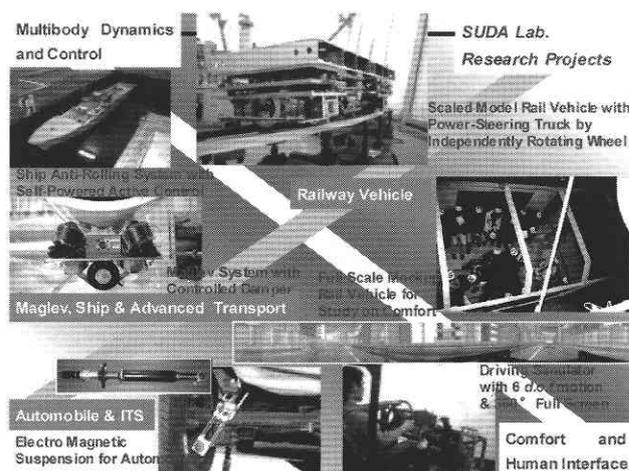
まず、私がどういうスタンスで研究をやっているか、そこから簡単に紹介します。モビリティ、すなわち「人」の移動と「もの」の輸送、に対してどういう要求があるかということです。当然、人間としては速く行きたい。ものにしても速く輸送したい。それで安いにこしたことはない。当然便利な方がよい。さらに快適性ということが最近非常に重要視されているわけです。もの場合は快適ではなく、効率性というわけです。

さらに、社会からの要請ということで、環境低負荷ということ、あるいは省エネルギーが要求されているわけです。それと当然、安全・安心です。どんどんいいものをつくっていきたいのですが、このような制約条件の中でやっていかなければいけない。これが交通関係の技術に要求されているところでございます。

それに対して私のところではどういう取り組みをしているかということ、グランドデザインを作っていくということです。グランドデザインとは、色々な言い方がありますが、今日の話ですと、ビークルだけではなくインフラを含めてどういうものが良いのか考えたい。それと、実は私

は両方やっていて、きょうも両方お話ししようかと思っているのですが、どちらかという自動車と鉄道の研究は分かれています。だけど本来は、一緒に議論をしていかなければいけないし、あるいは役割分担を考えなければならない。両方の技術を知って行動する必要がある。そういうふうに思っているわけです。ただ全部をやれないので、専門として運動制御技術を中心にやっています。それと、交通システムでは、人間が最終的に良し悪しを評価する訳で、人間を知らなければいけない。そこで人間に関する研究もやっている訳です。

研究テーマの概略を紹介すると、ビークルの話、それとマルチボディ・ダイナミクスという力学解析を効率よく行うこと、そういう話を主体にやっていますが、最近では乗客とかドライバーを対象とした研究もやっています。先ほど加藤先生からご紹介がありました、生産技術研究所だけではなく、国際・産学共同研究センターにいる関係上、名前のおり実用化していこうということをスタンスに考えており、大学だけではやりきれないことがあります。そこで私のところでは役所とか鉄道事業者、自動車メーカー、車両メーカー、重工メーカー、部品メーカーなどと幅広い共同研究をやっています。さらに交通のグランドデザインを考えると、機械だけでは完結しない。そのため最近では電気・情報、土木・建築といった異分野と、生産技術研究所という場を生かした共同研究を進めているということでございます。



この図は研究概要を表した絵でありまして、学問領域の軸とアプリケーションの軸とを示しています。力学から人間工学まで、それと自動車から鉄道まで幅広いことをやっております。

大学ですと、実はあまり設備はないのではないかと思います。うちの研究室では、あとで紹介しますが、千葉実験所のほうに10分の1スケールの鉄道車両の走行実験装置、実物大の鉄道車両のモックアップ、それと車輪とレールの接触をシミュレーションする装置とか実物大のバスなど大型装置をもっております。

自動車関係ですと、今日は公開で展示していますが、ITSの実験車、ドライビングシミュレータとか、ショックアブソーバやタイヤの試験装置がございまして、だいたい自動車・鉄道のダイナミクスに関わる装置は一応網羅しております。

本日のテーマ

- ・ 超急曲線通過を可能とする独立回転車輪パワーステアリング鉄道車両
- ・ ITSバーチャルプルービンググラウンド
- ・ 自動車の電磁サスペンション
- ・ セルフパワードアクティブ制御による船用減揺装置

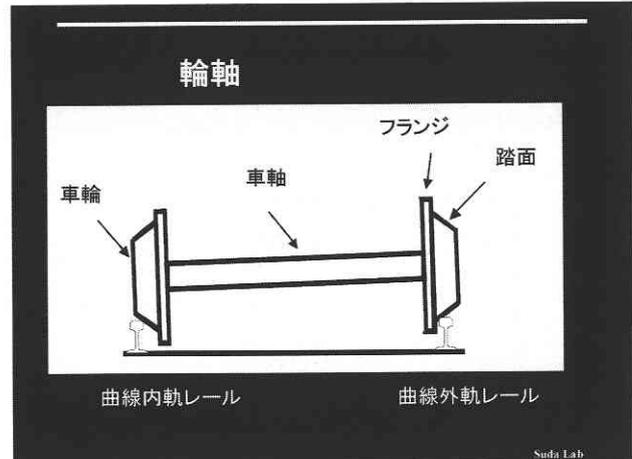
きょうのテーマは、そういうわけでたくさんあるのですが、とても50分という時間で研究全体を話さきれませんので、トピックスをこの4つに絞ってお話したいと思っています。まず、超急曲線通過を可能とする独立回転車輪パワーステアリング鉄道車両という、非常に耳慣れないものですが、最近研究室で開発しましたので、それを紹介したいと思っています。

あと、昨日、CCRでITSのシンポジウムをやりましたが、それに関係したバーチャル・プルービング・グラウンドというプロジェクトの紹介をしたいと思います。

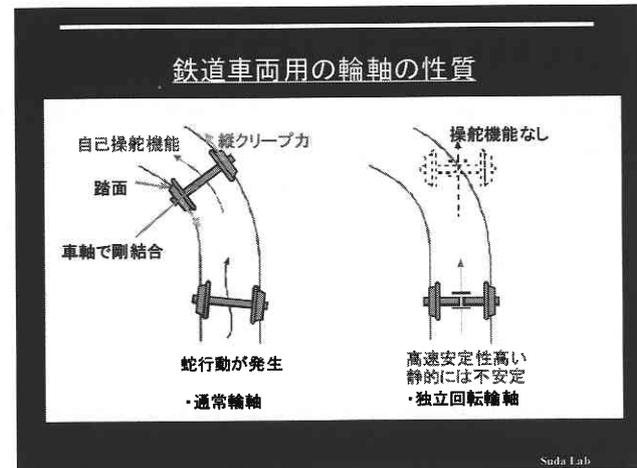
それと鉄道に対応した新しい技術ということで自動車関係では電磁サスペンションの開発状況を紹介します。最後に、先ほどご紹介いただいたのですが、本年機械学会論文賞をいただいたテーマとして船用減揺装置についても簡単にご紹介したいと思っております。

一番最初のトピックスですが、鉄道車両用に全く新しい台車を作りましたということですが、いきなり新しい話をして、どこが新しいのかわからないかもしれない、必ずしも鉄道にファミリアではない方もいらっしゃるかと思いますので、鉄道の従来技術も簡単にご紹介したいと思います。

鉄道車両の典型的な台車は、台車枠があって、そこに車輪が軸ばねで固定されています。特徴的なことは左と右の車輪が結合していることです。この上に空気ばねを介して車体が乗る。この台車がペアになって1両になるという構造になっています。日本あるいは世界中で走っているほとんどの鉄道車両は、こういう構成になっています。



これはその車輪のところだけ拡大したポンチ絵です。車軸で結合した車輪のレールと接触するところは円錐になっています。



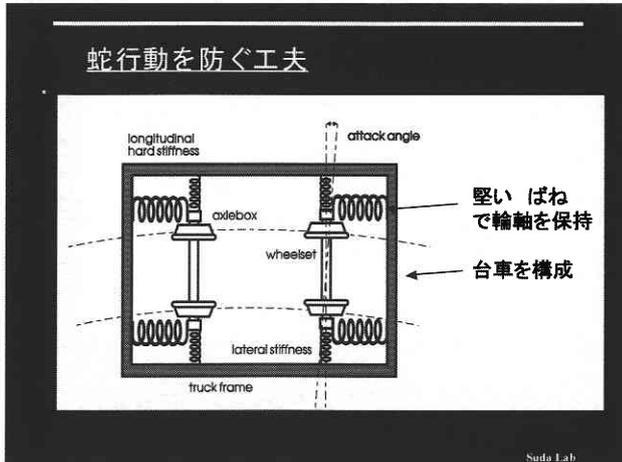
こういう構造をしていると、実は非常に巧妙な仕組みがあって、自己操舵機能といってカーブをひとりで曲がっていく、そういうメカニカルな自動制御機能があるのです。このうまい仕組みを使うのが従来の鉄道技術です。ところがこれは動的に不安定になる。そこでこの相反する性質をうまくデザインするというのが今までの鉄道車両技術です。

それに対して独立回転車輪というものもありますが、必ずしもうまく使いこなしていないというのが現状でございます。この性質を視覚的に訴えるために作りました模型をお見せします。車輪が軸でつながっていて、円錐になっていると実によいことをまず紹介します。

車軸はあっても円錐になっていないとうまく走らない、脱線してしまいます。実際はフランジがついていて脱線は

しませんが、それに対して車輪を円錐にすると、ひとりでに曲がっていきます。だけど蛇行動という自励振動が発生してしまう。これが問題だということです。

この蛇行動の現象を模型でお見せします。本物の鉄道車両だと、輪軸だけで1トン以上の質量があり、これが高速で振動すると大変怖い現象なので、これは実験室の模型です。



従来の鉄道技術は、固いばねで輪軸をしっかり固定する。そうすることによって安定性が確保できます。実は40年くらい前にこの技術は確立したわけで、そのお陰でよくご存じのように、日本が高速鉄道のパイオニアとして新幹線を開業したわけです。

ところが、このばねが固いと、自己操舵機能が阻害されてしまう。カーブでは車輪がそっぽを向いてしまい、この角度のことをアタックアングルと呼んでいます。このアタックアングルがあると横方向の力が車輪に作用して、レールや車輪が摩耗してしまうとか、騒音の原因になるとか、最悪の場合は脱線するということが起きるわけです。ただ蛇行動が高速で起きるほうが怖いので、このカーブの問題はどちらかというと二の次になってきたというわけです。

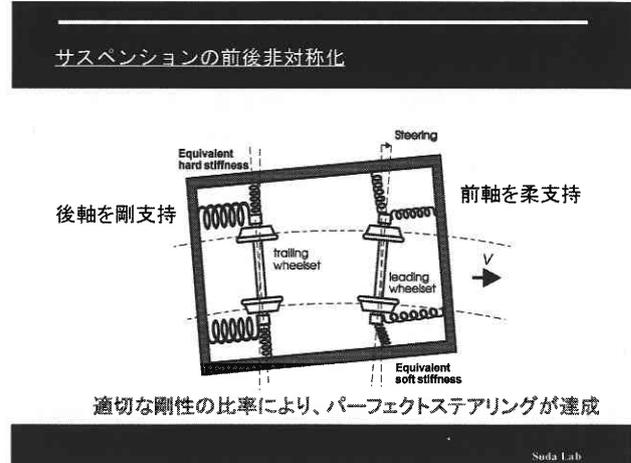
ところが新幹線が1960年代に開業したあと、実は日本以外のところで自己操舵台車といって曲線をうまく旋回する技術が開発されてきた。代表的なものとして、70年代には、南アフリカで貨車用ですが、クロスアンカーリンク方式という非常に画期的な機構をもつ台車が開発されました。その後1980年代には、カナダでスカイトレインというバンクーバーで開業した地下鉄があるのですが、そこで誘導操舵方式のリンク台車が開発されています。実はこの開発にはカナダのクイーンズ大学が関わっており、それで私はここに2年間滞在した訳です。

それでは日本はどうかというと、80年代の末期ようやく本格的な研究が始まった。日本独自のものができたのは1995年です。

これが前後非対称方式、柔剛軸ばね式と呼ばれている新しい自己操舵台車です。1995年に実用化したわけですが、実はこれは生産技術研究所、私のところで開発を始め、それをJR東海と一緒にやって実用化した。自己操舵台車に

はこういう経緯があります。これは完成したのですが、さらに研究を進展させて、今回提案している2000年代の技術があると思っているわけです。

95年に実用化したJR東海のワイドビューしなの号では、軸ばねに剛性の切り換え装置を組み込んでいました。



すなわち、サスペンションの支持剛性を前後非対称にしましょうというアイデアを出した。実は鉄道車両というのは行ったり来たりするというので、前後対称になっている。ところが自動車、船とか飛行機とかすべてほかの乗り物は全部進行方向が決まっている。鉄道だけが前にも後ろにも走る。新幹線は300キロでバックしているとも考えることもできる。実はこれはすごく難しいことをしている訳で、逆に進行方向を決めれば別のもっと良い性能がでます、というのが基本的な話です。きょうは詳しいことをお話しませんが、理論的に非常に良い解が見つかって、非常によい自己操舵性能が得られて、実用化されています。

特徴をまとめると、まずカーブでスピードアップができます。日本の国内で、カーブを一番速く走れる電車になっています。95年の実用化以来、その記録は破られていません。

それと車輪にかかる横方向の余計な力が半減する。そのためレールと車輪が摩耗しますが、車輪の摩耗が従来の台車に比べて4分の1くらいになったと聞いています。さらに騒音が低減します。走行抵抗も小さくなって省エネに貢献します、ということで良いこと尽くめになっているわけです。

ではこれで満足かということ、技術はやはり進歩しなければいけないということで、その後取り組んだのが、超急曲線通過性能を改善したいということです。しなの号は特急電車ですので、カーブは超急曲線という訳ではないのです。せいぜい半径300mくらいです。それに対して地下鉄だと半径100mくらいの急なカーブがある。さらにライトレールといって新世代の路面電車と言われているものと、半径50mという非常にきついカーブを曲がらなければいけない。これに対応した技術を開発しなければならないということです。

2000年に日比谷線で脱線事故が起きましたが、これは

半径 160 メートルのカーブでした。



ライトレールが注目を浴びていますが、これは熊本に我が国初に導入された超低床路面電車です。現在、バリアフリーが非常に叫ばれており、交通バリアフリー法が制定されて、あらゆる乗り物はアクセシビリティをよくしなければならないと法律で決まっています。

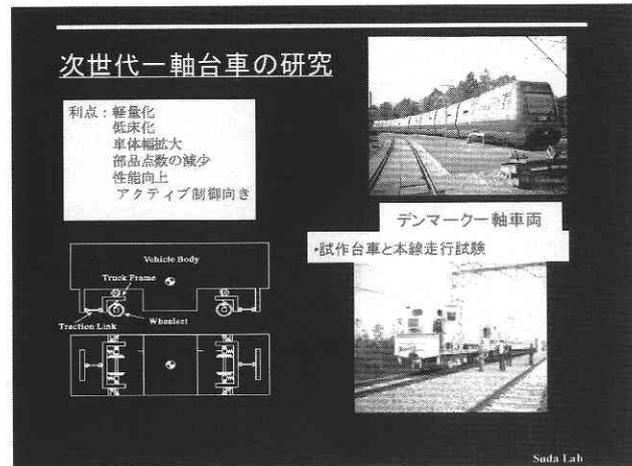
この写真は偶然、電動車椅子の方が自力で乗り込むところを撮影したのですが、床面が路面から 35 センチという超低床車両が実用化している。ただ、この車両は残念ながらドイツ製です。こういう技術は今まではヨーロッパで主に開発されていて、日本でもようやくいま一生懸命開発している最中です。

我が国で近年の技術開発の状況をご紹介しますと、1つは一軸台車という新しい技術がある。これは何かというと、先ほどの台車というのは台車の中に二軸、車輪が 4 つ、車軸が 2 つあったのですが、これを 1 つにしてしまおうということです。その背景としては、車体が非常に軽く造れるようになったということです。昔の通勤電車は 40 トンくらいもあったのですが、現在では軽量化のための色々な技術、材料とか構造解析技術の向上があって、車体の鋼体の質量が半分くらいにもなっています。そうすると車輪も半分で良いじゃないかという考えです。車体を軽量化したら、それに対応した台車技術も必要ではないかということです。また、超低床ライトレール車両では、床面を低くしようとすると、車輪が邪魔だということで、車輪は少ないほうが良い訳です。

独立回転車輪というのは先ほど良くないと説明しましたが、この超低床ライトレールでは、実はやむを得ず使っています。床面を下げると車輪が邪魔だということです。車輪をなくせば床面が下がるということで、運動性能的は良くななくても、バリアフリー的な要求から独立回転車輪が使われている。

あともう 1 つはアクティブ制御技術であり、ここ最近ものすごく発展してきています。自動車ではアクティブサスペンションは、もう既に 10 年くらい前から実用化していますが、鉄道車両でも、東北新幹線の「はやて」でフルアクティブサスペンションが実用化しています。

昔、自己操舵台車の研究をやり始めた 1980 年代のころは、台車にアクティブコントロールを入れるのは時期草々という風潮だったのですが、いまはそういう縛りがなくなってきている。以上のような技術的な変化の背景がありません。



このスライドは一軸台車で、既にデンマークの通勤電車では走っています。東京でいうと山手線とか京浜東北線みたいな電車に使われている。なんとなく不格好な格好をしていると思うかもしれませんが、実はこれは車体の幅が 3.6 メートルで世界で一番幅が広い電車です。一軸台車を採用して車体の長さを短くすると、車体の幅を広げられるのです。そうすると座席も多いし収容力も多い。こういう電車がデンマークで走っている。

日本でも、JREA、日本鉄道技術協会プロジェクトで、日本独自の一軸台車を開発するというプロジェクトがありました。私が委員長だったのですが、試作台車を造って実際に本線で走らすところまでいった。今から 3 年くらい前ですが、それ以降はまだ具体的な動きは残念ながらありません。ただ、世の中はこういうように動いています。

JR 東日本では AC (Advanced Commuter) トレインということで、次世代の通勤電車のプロトタイプを試作したのですが、連接車両が採用されています。連接台車は既に色んなところで採用されていますが、ここで新しいところは、空気ばねをそれぞれの車体につけているところです。すると台車枠を真ん中でちょん切れば、一軸台車になってしまいます。それで先ほどの独立回転車輪も使いたい。ただこのまま使うと上手くいかないですから、使いこなす技を考えたいということです。

通常の独立回転車輪が何故だめかということ、先ほどの模型でお見せしますと、こんな感じです。線路の上に乗せるとどうなるかということ、模型では実はこれが乗らないのです。これはだれがやっても乗りません。何故乗らないかというと、倒立振り子みたいになっていて、静的に不安定なつりあい点になっているのです。

このように、抜本的なコンセプトの変革の必要性があるということ、車輪の構造、アクティブ制御との融合、これらを考えなければいけないということになります。

抜本的なコンセプトの変革の必要性

- 車輪の構造
- アクティブ制御との融合
 - 車体の軽量化
 - 超低床ライトレール
 - 独立回転車輪

Suda Lab

2つの車輪の結合方法

原	重力復力	横クリープ	縦クリープ	スピンモーメント	原	重力復力	横クリープ	縦クリープ	スピンモーメント
	●	●	●	●		●	-	-	●
	●	●	●	-		-	●	-	●
	●	●	-	●		-	-	●	●
	●	-	●	●		●	-	-	-
	-	●	●	●		-	●	-	-
	●	●	-	-		-	-	●	-
	-	-	●	-		-	-	-	●
	-	●	●	-					

鉄道車両のダイナミクス 東京大学 生産技術研究所 CCR & IIS, University of Tokyo

Suda Lab

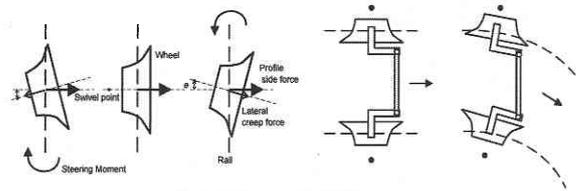
こういうことに対して、ドイツで非常に革新的なアイデアによる研究があります。車輪に働く力をよく考えてみると4つあるということです。詳しいことを話すと時間がないので、とにかく4つあるということをご認識いただきたい。4つの力が働くか働かないかということで分類すると全部で16通りあります。

16通りここにはないのは、なにも力が働かないということはありません。というわけで、もし2つの車輪のペアを考えるとすると、原理的にこの15通りしかない。従来の輪軸では4つの力が全部働く。それに対して先ほど上手いかなかった独立回転車輪では、縦クリープ力といわれているものだけが作用しない。実はこの力が曲線旋回に非常に重要な力なのです。その力だけが作用しなくて、余計な力が作用するという最悪の組み合わせなのです。では何が一番いいのか。理想的にいうと、この重力復元力、先ほど振子だと言いましたが、この振子になるための重力復元力だけが働く、これが一番よいということに論理に行き着くわけです。

ドイツのアーヘン工大のフレドリッヒ (Frederich) 教授、もう引退されたのですが、画期的発明をされて、車輪単体だけでも自己操舵することを見出したのです。車輪とレールの接触面が水平でないとき必ず垂直抗力は斜めに働く。そうすると重力は必ず真下に働くので横方向成分がある。その成分が重力の復元力ですが、これをうまく使って

車輪単体に操舵機能を持たせる方法

- Frederich 教授 (ドイツアーヘン工大) の画期的な発明 (EEF方式)



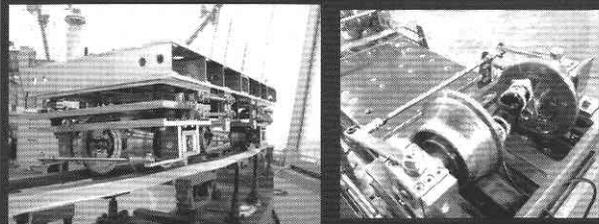
重力の復元力を利用:
安定な振り子作用

鉄道車両のダイナミクス 東京大学 生産技術研究所 CCR & IIS, University of Tokyo

Suda Lab

車輪を操舵させるという仕組みです。このとき安定な振子になるのです。先ほどの不安定な振子だったのですが、これは安定な振子になる。この技術を活用しようと考えたわけです。

台車の概要



Suda Lab

この写真は我々の研究室で作った開発台車の模型です。この3月にドクターをとった道辻君という学生が博士論文の研究で、この台車を実際につくったのです。このように車輪が2つ分かれています。自動車みたいに舵取りをする新しい構造です。

パワーステアリング機構



台車側面

モータの駆動回路

安定性向上、振動を取り除く機能+曲線への追従をアシストする機能

Suda Lab

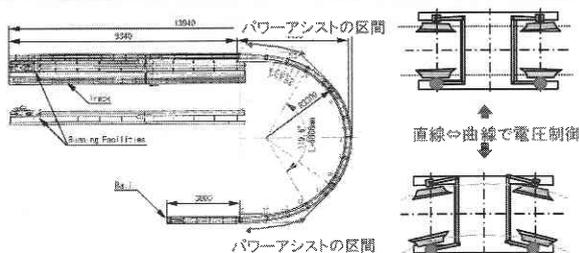
これだけだとドイツの提案そのものですので、我々のオリジナリティとして、これをうまく使いこなす技を考えました。それがパワーステアリング機構というまったく新しい考えです。

車輪は基本的に振子ですが、減衰がありません。減衰がないとフラフラしてしまうというわけで、減衰を与える必要がある。この減衰を与えるのに、電磁ダンパという、後で自動車用として話すものですが、電磁ダンパの技術を応用した訳です。

この電磁ダンパを何故使ったかという、ダンパを強くすると、カーブを曲がるのに、今度は抵抗になってしまう訳です。実は電磁ダンパはモータそのものなので、そこで逆にカーブのときは、パワーアシストしてやりましょうというわけです。いわゆる EPS、電動パワステの機能を持つという技術です。安定性向上、振動を取り除く機能プラス曲線に追従してアシストする機能が実現し、一石三鳥となるのです。

そういうわけでまとめてみると、独立回転車輪、重力を利用した画期的な自己操舵機構、パワーステアリング機能、必要と時のみパワーアシストということです。定常旋回とか直線ではアシストの必要性はありません。安定性も確保できます、という非常に良いものになりました。

パワーアシスト制御



模型車両の実験は千葉実験所にある 10 分の 1 の走行模型実験装置を使いました。パワーアシストするのは、カーブの入り口と出口のところだけです。日比谷線が脱線したのはまさにカーブの出口ですが、そういうところだけをパワーアシストすれば良いということです。

模型車両の走行シーンをお見せします。この装置は半径 3.3 メートルという急カーブですので、実物換算 33 メートルで、実際にはほとんどあり得ない急カーブです。従来の台車ですと、フランジで無理やりガイドされ、抵抗が大きくて途中で止まってしまう。

それに対して今回の車両はどうなるかというと、まず、これが先ほど説明した振子機能で、重力の復元力で必ず元に戻ります。カーブでは、先ほどはフランジ接触して途中で止まってしまった所を、この車両は非常にスムーズに走り抜けてしまう。車輪とレールの隙間に注目してください。

隙間がずっとそのまま維持されています。全くフランジ接触をしない。最後までスピードを落とさずに走り抜けていきます。これだけ走行抵抗も違う訳です。

具体的な測定結果でも、車輪に働く脱線係数といわれている、安全性の評価値ですが、その評価値がかなり小さいことが確認されています。

カーブでスムーズに走れると、さらに良いことがあります。急カーブではレールに洗濯板のようなコルゲーション、波状摩耗といわれているものが発生しますが、恐らくこんなことは無くなると考えられます。

実はこのような車輪とレールの接触問題は、鉄道における非常に大きな問題の一つで、こういう問題だけを取り扱う国際会議が、2000 年に私がチェアマンで生研シンポジウムとして開催したくらいの重要な問題なのです。この開催をきっかけに、JSCM という学会活動も視野にいたれた研究会も去年発足し、交通新聞の一面に紹介されています。それくらい重要な問題ですが、これを解決するかもしれない技術です。

ちょっと蛇足になりますが、この問題に関しては別に力学だけで解決しなくてもいいということで、トライボロジーの視点から摩擦制御をしようというプロジェクトもやっています。この手法でも改善されるということが分かってきています。これは東京メトロで実用的な段階まで来ています。

さて、鉄道の話ばかりやっていると、自動車関係の方にはもの足りないでしょうから、自動車の話題に移りますが、実は自動車と鉄道というのは力学的にいうと類似性がかなりあります。ゴムタイヤ、鉄車輪、それとあと船とか飛行機の走行原理を比較してみると、力の働くメカニズムは若干違い、摩擦力か流体力かという違いがあるのですが、進行方向に対して角度がつくと、これはアタックアングルとか滑り角とか、言葉は違うのですが、横方向に力が発生するというメカニズムなのです。鉄道の場合は横方向の力を使うと脱線してしまうので、これが発生しないように曲がろうとさせる。だけど自動車、船、飛行機の場合はこれを使って積極的に曲がるという仕組みなのです。というわけで、力学をやっている人間にとっては自動車であっても鉄道であっても船であっても扱う方程式はあまり変わらないことになるのです。

特に鉄道と自動車のサスペンションに関する最近の研究動向をまとめてみたのですが、左右方向、上下方向、前後方向、駆動系、構造と、似たような技術開発が行われています。最近のトレンドでは自動車と鉄道は似たような展開になっているということです。

最近の研究室のプロジェクトをいくつか紹介しますが、その 1 つがドライビングシミュレータを利用したバーチャル・プルービング・グラウンドというプロジェクトです。

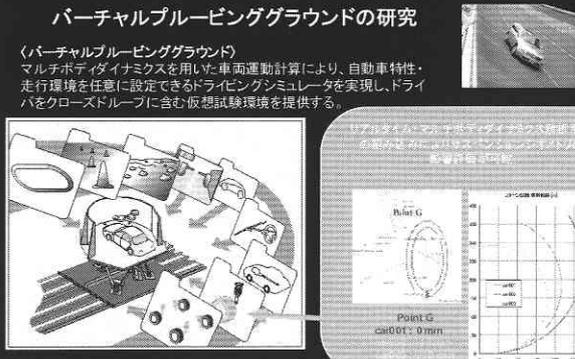
先ほど鉄道で新しい技術開発をしたことをお話しましたが、当初はシミュレーション中心でした。しかし、やはり実証実験が重要です。けれど鉄道の場合、実物での実験はなかなか大変です。それでようやく千葉実験所に 10 分の

鉄道と自動車の駆動系 サスペンションにおける課題と最近の技術開発

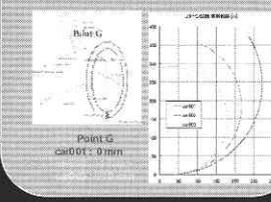
左右方向の運動	曲線通過特性と蛇行動安定性の両立 乗り心地の向上 アクティブサスペンション 制御振り	線路性と安定性の両立 アクティブサスペンション
上下方向の運動	乗り心地と輪重抜けの防止	乗り心地とタイヤの接地性 アクティブサスペンション
前後方向の運動	摩擦調整材を用いた摩擦制御による曲線通過特性の向上	トラクション制御による操縦安定性の向上
駆動系	ダイレクトドライブモータ	電動駆動、インホイールモータ
構造	一軸台車 超低床LRV用台車 通達台車の新構造 可変ゲージ台車	目的に応じた様々なサスペンション形式

ドライビングシミュレータを用いた バーチャルブルーピンググラウンドの研究

〈バーチャルブルーピンググラウンド〉
マルチボディダイナミクスを用いた車両運動計算により、自動車特性・走行環境を任意に設定できるドライビングシミュレータを実現し、ドライバをクローズドループに含む仮想試験環境を提供する。



「A」がタイヤが「B」が平路面「C」がグレードの高い路面にそれぞれ対応するタイヤの性能評価が可能な。



共同研究:三菱プレジジョン株式会社 Suda Lab

1の模型試験線ができた。

では自動車ではどうなのか。自動車だと実物を対象にすることはできません。ただ走らすとなると、さすがに大学でテストコースを持つわけにはいかない訳です。そうすると、バーチャルなテストコース、高速周回路を持ちたいということです。

それにはどうしたら良いかというと、ドライビングシミュレータを利用するという事です。ドライビングシミュレータでは、バーチャルに計算できるところは計算で置き換え、ドライバーである人間とか、一部のパーツだけは実物を使う。こうすれば、バーチャルな試験環境ができるのではないかと、そういうコンセプトです。

例えばいま私のところでやっているのはサスペンションです。このときサスペンションのところだけ非常に詳細なモデリングをして計算をしようとする、実はこれは大変難しい。ドライビングシミュレータというのはリアルタイムで動かさなければならぬので、リアルタイムに車両運動計算をする必要がある。これにはかなりの技術がいります。幸いうちの研究室のドクターを取得した博士の学生と、この計算プログラムを開発して、サスペンションのセッティングをちょっと変えるとどうなるか操縦の体感でわかるようになった訳です。

もちろんサスペンションだけではなくて、タイヤ、ドライブドレーン、ステアリング系空力とか、あるいはITSのような交通環境など自動車にかかわる研究に利用できるのではないかとということです。

元々、ドライビングシミュレータは、人間特性を測るといのが一般的な使い方ですが、人間特性だけを調べるのだともったいない。車両の特性も調べたい。サスペンション以外にも、タイヤ試験機と連携させるといようなこともやりました。タイヤと路面の関係は、非常にややこしいところで、なかなか計算が難しい問題です。そこで、タイヤ試験機とこのドライビングシミュレータをリアルタイムで連携させました。そうするとタイヤの動特性を計算するのではなく、ドライビングシミュレータで車の運転操作のとおりタイヤにスリップ角与え、タイヤに働く力を試験機上で測って、それを元に車両運動計算をやる、こう

いう仕組みです。

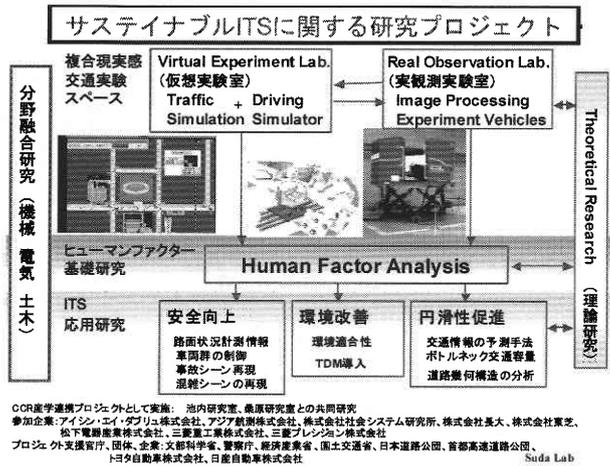
装置と実験の様子をビデオでお見せします。ドライビングシミュレータでは学生が運転していますが、タイヤ試験機では、ハンドルを切るとタイヤがそのとおり動きます。さらに接触荷重も車の運動に応じて与えています。そしてこのタイヤに働く力をリアルタイムに測定し、ドライビングシミュレータの計算にフィードバックさせる。

このシステムを実際に適用してみた一例がタイヤ評価です。具体的にはタイヤ動特性モデルの評価ですが、例えば3つのタイヤを試験機で評価してみました。Aがふつうのタイヤですが、Bは扁平にしたもの。Cはグレードの高い性能がよいタイヤです。タイヤ試験機で特性を測ってみると、確かにグレードの高いタイヤはよい性能であるという測定結果が得られるわけです。

このシステムを使うと、数値データだけではなく、体感でもタイヤの性能が評価できてしまうわけです。実際に被験者に運転してもらって、やはり「スポーツ用の良いタイヤ」「扁平タイヤ」「普通のタイヤ」の順に運転がしやすいという評価が得られるのです。車体のスリップ角、フロントタイヤのスリップ角をダブルレーンチェンジ試験のときのピーク値をプロットすると、確かに一番良いタイヤがよい性能を発揮する。定量的にも体感的にもわかるわけです。

このシステムでは、特にタイヤモデルをつくるのが非常に難しいような、例えば空気圧が変化したらどうなるのかとか、トレッドパターンの影響、あるいはタイヤの摩耗の影響などにも対応できそうだということです。

ITSへの適用については、昨日CCRでシンポジウムがありましたので簡単に紹介しますが、このバーチャル空間ができると、さらに道路環境も模擬したいということになってくるわけです。通常のドライビングシミュレータではシナリオがフィックスされている。実交通環境を模擬するという事は、周りの車の挙動が自分の車の動きに応じて変わってくれるということです。こういうドライビングシミュレータをつくらうということです。例えば、迷惑なところに車を止めると後ろに渋滞が出てきますね、というようなことが模擬できるようなシミュレータをつくりたい



い。このプロジェクトは電気の池内先生、土木の桑原先生と共同研究を進めており、民間8社との共同研究として、官庁、公団など多くのご援助を頂いて現在進めています。今回の公開ではCCRの1階でプロトタイプの実験デモンストレーションをしていますが、例えば、首都高の3号線の谷町ジャンクションの合流部分などで、ドライバー特性を研究しようということを行っています。

自動車用電磁サスペンションの開発研究

モータ(発電機)で発生する電磁力を、減衰力として利用するダンパ

- 減衰力可変セミアクティブダンパ
- 減衰力特性のチューニング
- エネルギー回生
- 力センサー機能
- 左右選別ダンパによるロール制御

減衰係数

自動車に求められる減衰力特性 **走行試験** **共同研究: カヤバ工業株式会社 協力: 株式会社プリズトン**

最後に、次世代のサスペンションについてのお話をしたいと思います。いままでの車の技術の歴史を考えると、どんどん電動化・電子化が進んでいる。エンジン制御の電子化などに始まり、パワーステアリングも電動パワステになった。さらに今度はエンジン自身が今度はモータに代わりそうとか。最後に残っているのはサスペンションの電動化です。すなわち電磁サスペンションです。一番最初には、我々の研究室で電磁サスペンションを作製し、古い車でオイルダンパを交換して、走行実験を行った。閉回路の電気抵抗を変えていくと、だんだん減衰特性が変わってきます。ビデオでは、最初はみんな気楽に押していたけれど、ダンパが硬くなると、押している皆の顔が強張ってきていることがお分かりかと思いますが、こういように減衰特性を自由にコントロールできる訳です。当初は研究室で独自に進めてきたのですが、現在では共

同研究に展開していきまして、実践的なショックアブソーバができております。

自動車のショックアブソーバの場合、乗り心地と操縦安定性を両立させなければいけない。この目的で、非線形特性をいかにチューニングするか非常に重要なところになるわけです。それに対しては、パワーエレクトロニクスを使って、非線形特性を自由に実現する手法を考案した。しかも、このときエネルギーを外から加えないで実現しました。

走行実験をした結果ですが、非線形特性がちゃんと実現しているということが既に得られています。2003年のモータショーでは、プロトタイプを展示するところまで進展しています。現在では、実用化や、もっと性能を向上させたいということで、さらに共同研究を進展させて、四輪ともに試作した装置を装着して研究を進めています。さらにパッシブ以外の可能性の検討なども進めております。

さらにこの電磁ダンパは、実はセンサになるのです。電流を測ると力を測ることになる、そういう関係なのです。このセンサ機能を使って路面状況を測定するというプロジェクトもいまやっています。

最後に、さらにこの電磁サスペンションを使うとエネルギー回収もできますということを紹介して終わりにしたいと思います。このエネルギー回生の話は、車ではなく船でやったのですが、波のエネルギーを回収してアクティブコントロールするという、非常に画期的なことができるということになります。セルフパワー・アクティブ制御システムと名づけています。

セルフパワー・アクティブ振動・動揺制御システム

船用減揺装置への適用

セルフパワー・アクティブ制御
外部からのエネルギー供給せず、制御対象を含む系の振動からエネルギーを回生し、アクティブ制御を行うシステム

船舶への適用
波のエネルギーを回収しながら、See State 5の波浪状況で揺れを半減

制御性能

High
Low

エネルギー回生 エネルギー消費

セルフパワー制御 アクティブ制御

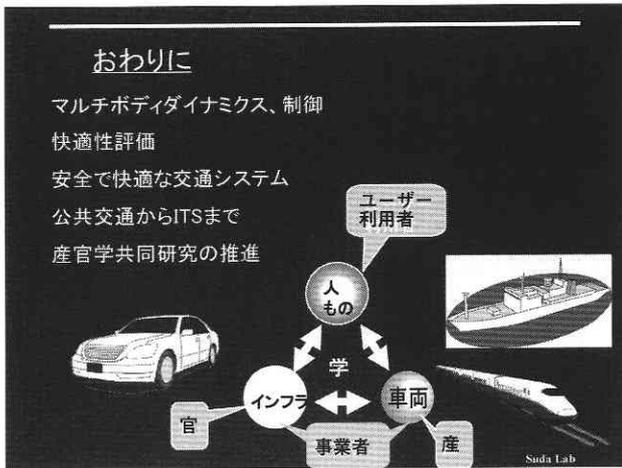
エネルギー回生ダンパ パンプ

(模型船水槽実験結果)

共同研究: 石川島播磨重工業株式会社 Suda Lab

これは造船メーカーと共同研究を行い、実際の水槽で模型船を浮かべて実験をやった結果です。模型の船といっても1万トンクラスの船の模型なので、サイズとしては3メートルぐらいで、ふつうの手漕ぎボートぐらいの大きさです。減揺装置は、電磁サスペンションみたいなものですが、錘を左右に動かして船の揺れを止める。このとき、錘の動きにブレーキかけるときに発電してエネルギーを蓄える。これにより波のエネルギーを回収したことになる。この回収したエネルギーのみを利用してアクティブ制御をする。それによって、減揺装置がない場合に比べて減揺装置つき

の場合では、揺れが半減ということがわかりではないか
 と思います。



時間が参りましたので、最後にまとめますが、私のとこ

ろでは動力学，制御の話，さらに今日はあまりお話でき
 ませんでした，人間に関わる快適性まで，交通システムに
 ついては，広範囲の対象に産学官共同研究をやっている
 ということです．ITS のフレームワークでは，人，道路，車
 両の相互の関係が重要ということなのですが，この関係は
 交通システム全般に言えることです．官と産業界，さらに
 鉄道の場合の事業者はインフラや車両と関係するが，ユー
 ザは人やものサイドに関係する．一方，インフラ，人，
 車両のすべてに等距離にあるのは大学だろうということ
 です．そういうわけで，こういう仕組みの中で学の役割が
 あるのではないかと考えております．

本日の講演では研究室のプロジェクト全てのお話しは
 できませんでしたが，多くのテーマについて研究室公開を
 していますので，もしご興味がある方は，是非私の研究室の
 ブースにいらして頂ければ幸いです．これで終わりにした
 いと思います．どうもご清聴ありがとうございました．

(了)