

# 日本技術士会 中部本部 岐阜県支部

## 令和5年3月講演会メモ

日時：令和5年3月11日（土） 13:00～17:00

場所：ワークプラザ岐阜（岐阜勤労福祉センター）4階中会議室

会場講演およびZoomシステムによるウェブ講演会の併用

後援：岐阜大学工学部、岐阜工業高等専門学校

会場参加者：14名（会員12、講師2）； ウェブ参加者：11名（会員11） 計25名

司会：坂井 善幸（電気電子部門）

### 開会の挨拶

岐阜県支部長 藤橋 健次（建設部門）

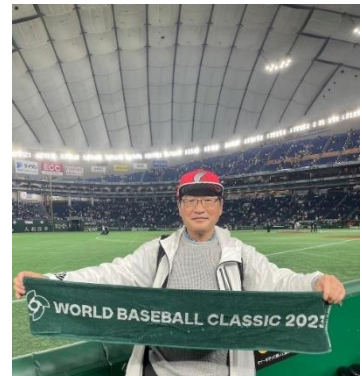
### 1. 会員講演

演題：「都市計画と公民連携について」

講師：TKG技術士事務所 高木 智 氏（建設・総合技術監理部門）

講師紹介：小生の技術士部門は、21部門のうち建設部門であり、その中の

「都市および地方計画」分野における地域計画と、「道路」分野における道路計画です。1980年4月の岐阜県内の大日コンサルタントに入社し、2022年7月に退職、翌8月にTKG技術士事務所を立ち上げ、2023年3月末をもって大日コンサルタントとの雇用契約が終了する予定です。大日コンサルタントは、県庁の南側にあり、新庁舎が弊社に50mほど近くなったところです。入社後、道路部に配属されましたが、富士吉田市、石岡市、淡路島（洲本市）へ施工管理として現場を経験しました。富士吉田では、富士急ハイランドの隣に事務所があり、土日には大勢の若者が訪れていました。淡路島では、本四連絡橋の仕事で、大鳴門大橋は完成していましたが、



明石海峡大橋はまだなく、陸上部を担当していました。また、バブルの時期には、旧道路公団の外郭団体である高速道路技術センターという機関に出向しており、東京でバブルの人生を謳歌していました。その後、本社に勤務し、新部署である都市開発部というのできて配属されたことが、都市計画の技術者となったきっかけです。都市計画に携わったといっても、今日に至るまで、マスタープランの作成に携わったことがなく、土地利用や都市施設の一部である公園、道路、地域活性化のようなソフト政策の立案を行っていました。その時の公共施設の整備手法であるPFIにも出会い、20年間以上PFI事業にも携わっています。現在、資料のトップページにもあるように、技術士CPD認定をうけています。



Pe-CPD

講演概要：身近な都市計画の話題をいくつか紹介するとともに、時間が許す限り、公民連携（PPP）の在り方や公共調達の一調達手法であるPFI手法を説明し、さらに、岐阜県や愛知県で実施されているPPP/PFIの多様な事例を紹介します。

### 講演内容：

#### 1. 都市計画の話題

##### ①都市計画道路の変更について

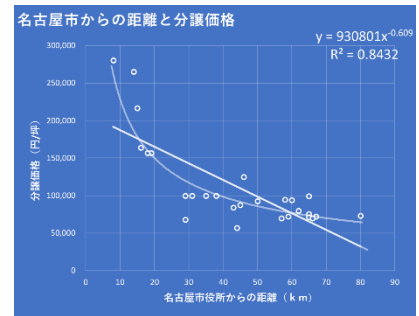
都市計画法という都市計画の根本の法律があり、この法は私権を抑制している法律でもあると思っています。たとえば、都市計画道路というのがあり、見直しされた場合、特に、配布資料に示しているように12mから9.5mに縮小になった場合、留意すべき点があります。それは3.5mの私権抑制域が解除されたということです。つまり都市計画法53条・54条建築許可の基準に沿って私権を制御されて家を建てたわけですが、

これが解除されたということで、鉄筋コンクリート造の3階建てを建てることができます。仮に、過去の家を建てる際に、鉄筋コンクリート造3階建てだったとすると、法54条により私権制御の解除となりますので、そのような状態になった場合にはぜひご注意ください。

#### ②開発許可制度について

小生は、過去に春日井カントリークラブに併設された工業団地と羽島のコストコの開発申請をおこなったことがあります。それ以降、売れる工業団地というのはどの程度費用かを調べています。

この東海地方の場合、名古屋を中心に環状道路が整備され、この環状道路沿いに工業団地が整備されているとすると、便益は土地の値段に帰着するという考え方、つまり、ヘドニックアプローチを試みることができます。図に示しているのが、名古屋市からの距離に比例して相関関係 ( $R^2=0.84$ ) にあるのがわかるかと思います。例えば、名古屋から40km



とすると、坪あたり10万円となります。この土地単価となるようにいかに整備費を抑えつつ広い面積を確保するかが課題となります。事例として、民間が実施する工業団地整備の他、PPP/PFI事業を含めて、多様な仕組みの開発事例があります。

農地をつぶして工業用地にすることが安価となりますが、農地法の関係から関所があります。それをクリアする方法が、農地転用許可権限当に係る指定市町村制度を活用することです。その事例として民間企業を誘致した北方町広域交流拠点施設整備事業、大野町の大野神戸インターチェンジ周辺まちづくり整備事業が該当します。開発で一番の難関である農地転用をクリアするために自治体が覚悟を持って取り組む制度と認識しています。(詳細は略)

他にも、公民が連携して中山間地で実施した事業として岡崎市阿知和工業団地整備事業があり、これはPFI法に則り実施されたもので、小生自信も携わることができ、大きな成果であると感じています。

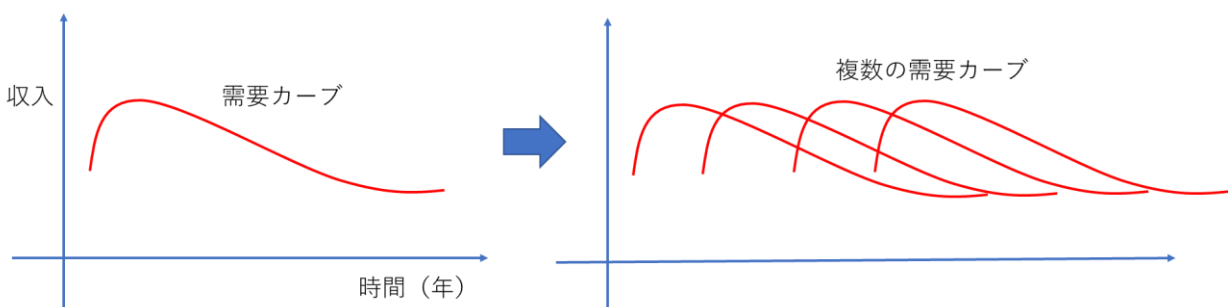
#### ③跡地利用について

岐阜市のメディアコスモスは、岐阜市の図書館として整備され、大勢の市民が利用していますが、小生は、岐阜大学医学部跡地活用事業(つかさのまちプロジェクト)として、基本計画に携わることができました。最終的には、提案コンペで伊東豊雄氏が選定され、現在のメディアコスモスが整備されました。提案コンペにおいては、日本中の建築家やその卵たちが集まったことから、じゅうろくプラザの多目的ホールが満員となり、急遽、ホワイエにTV中継して視聴して頂いたことを思い出します。先日、岐阜県支部がおこなった産官学合同セミナーの集客を比較すると相当な違いがあります。

また、現在、メディアコスモスの隣に市庁舎移転しましたが、旧庁舎の跡地利用事業として民間事業者募集中です。本事業は、まさに公共調達の民間活用の手法かと思っています。

#### ④地域活性化について

配布資料のグラフは岐阜県内のある施設の入込客数の推移を表しています。



最初は、珍しいこともあり入込が増えますが、そのまま何も手を打たないと時とともに需要が減少していきます。これが需要カーブと言われるものです。この需要を維持するために、複数の需要カーブを設けるのが地域活性化施策です。以下にその代表的な方策の一部を解説します。

ア) 近ちかき者もの説よるこべば、遠とおき者もの来きたる。

論語の一部で元岩手県知事の増田寛也氏が始めて使ったとされています。地域(地元)の方が楽しまないと来訪者も楽しくというように解釈して、活性化施策を考えます。

イ) よそ者、若者、ばか者

「よそ者」とは、第3者の視点を持った、冷静な分析をする人（できる人）のことで、さまざまなデータを分析し、客観的な情報から地域の強みや弱みを伝え、場合によっては、その土地に住んでいない人の方が資源をクローズアップすることができる人たちです。「若者」とは、年齢的なものではなく、積極的に活動に取り組む“実行”できる人です。「ばか者」は、いわゆるアイデアを出す人で、時には、羽目を外すアイデアや大胆な企画から、まちの活性化につながるのですが、「ばか者」は、まちを愛している人で、無責任な壊し屋とは違うので、その大胆な企画にも愛が込められているとされています。この3者を見つけ、育てさらに実行する中心人物になっていただくことが重要です。

ウ) モノ消費からコト消費へ、そしてトキ消費

モノ消費とは、観光地等で商品を購入したり、風景を楽しんだりすること。コト消費は、例えば「いちご狩り」「芋ほり」などの体験に価値を見出すこと。トキ消費とは、マラソン、音楽フェス、渋谷のハロウィーンの集まりなど「その日、その場所、その時間」を共有すること。とされています。これらを使い分けた活性化施策の立案が必要です。

エ) ターゲット設定：消費年代と波及年代

需要を喚起するためには、ターゲット設定をすることも重要です。一番の消費年代は子育てが終わった中高齢者、それと若い女性です。若い女性の SNS を使った波及効果は見逃せません。

オ) 連携（地域内、広域）交流人口と関係人口

地域内に人を増やすことは重要ですが、競争も激しくままなりませんので、広域連携により母数を増やすことを先手として試みます。そして、その地域にいなくても年に数回訪れてくれる交流人口を増やすこと、訪れることは困難でもふるさと納税のように関係する人を増やすこと。これらの活性化施策も重要です。

カ) 地域資源のブラッシュアップ、ブランド化

地元の人にとっては、たわいもないものでも、地域外のひとからみれば、貴重な珍しいものがあります。これを見つけてブラッシュアップし、さらにブランド化することが重要です。この事例は数多くあります。

キ) 情報発信（マスコミ、WEB）、ネーミング、ロゴ

若い人たちに限らず、SNS の威力は見逃すわけにはいきません。いかに安価で宣伝するかが命題ですが、新聞広告やチラシよりも瞬時に拡散する SNS の「映え」系の情報発信は効果的です。

先ほどのメディアコスモスですが、それに併設された『せせらぎの並木』があり、カツラを4列に配されていますが、手に手を取って「テニテオ」という名称がつけられています。ちなみに、前の広場が「カオカオ」です。高島屋隣の再開発ビルに入る健康運動施設は「ウゴクテ」、子育て支援施設は「ツナグテ」と言います。ネーミングのコンセプトに統一感があります。このネーミングの是非の判断は市民の方にお任せします。

2. 公民連携（PPP）の在り方や公共調達の一調達手法 である PFI 手法

小生の持ち時間が少なくなりましたので、PFI 手法について、簡単に説明いたします。PFI（Private Finance Initiative（プライベート・ファイナンス・イニシアティブ）とは、公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う手法で、岐阜県内では、6件です。隣の愛知県では63件と比べますと大変少ない状況です。

詳細な説明は、また機会があればと存じます。

## Q & A

Q：都市計画道路の見直しにおいて、12m から 9.5m に縮小になった場合、今まで家がかかっていた人にとってよくなるように思えるが何か問題か？

A：都市計画決定と既存家屋の建築時期によって、意見が分かれると思います。既存家屋の建設が都市計画法第53条以前のものであれば、都市計画道路によってそのエリアに家屋がかかっていたとすると、解除によってかからなくなりほっと一安心ということになるかもしれませんが、おそらくその家屋は築60年以上過ぎているので、曳家も難しく、補償によって建て替えてしまったほうがよかったことになるかもしれません。また、都市計画法53条適用以降の築年数の場合、建築構造等に制限がかかって建築したので、建築主にとって不利な条件で建築せざるをえなかったこととなります。それをどう考えるかかと思えます。その制限が外れることによって、建てたかった家屋が立つので「よし」とするかは個人のご判断になるかと思えます。

## 2. 来賓講演

演題：「空力浮上式高速交通システム エアロトレイン」

講師：岐阜大学工学部機械工学科 准教授 菊池 聡 氏

講師紹介：宮城県出身。秋田市（0歳）、仙台市（年中まで）、神戸市（中高）、仙台市に戻って東北大学で学部、大学院。1999年、東北大学大学院工学研究科機械知能工学専攻、博士（工学）。同年、東北大学流体科学研究所助手。エアロトレインの実験で宮城県日向市に1年間赴任。2004年10月、岐阜大学工学部機械システム学科講師。2011年8月、岐阜大学工学部機械工学科准教授。



現在、日本流体力学会 中部支部 運営委員、日本流体力学会 代議員、自動車技術会 中部支部 幹事。

専門領域：流体工学／流れの計測・制御／翼の地面効果

受賞：1994年3月 日本機械学会 畠山賞。2001年9月 日本機械学会 流体工学部門 優秀講演表彰。2004年4月 日本機械学会奨励賞（研究）。2022年11月 日本機械学会流体工学部門 貢献表彰。

講演概要：エアロトレインとは翼を利用して浮上し高速走行する乗り物であるが、翼の地面効果を利用することで効率よく浮上走行する。翼の地面効果の仕組みを説明し、エアロトレインの走行試験について動画とともに紹介。

### 講演内容：

#### 1. 私の研究の紹介

大学の研究室では、小型の風洞装置を使って流れの解明や制御、および機器の効率向上を目的に実験研究を行っている。流れの制御によって効率向上・抵抗低減・振動騒音の減少などが期待できる。

流れの制御には、プラズマアクチュエーターという制御デバイスを使っている。これは、誘電体を挟み込んだ二枚の電極間に交流高電圧を印加して誘電体バリア放電を起こし、プラズマを発生させて誘起流を作る。例えば、翼上面で剥離が起こった場合、プラズマアクチュエーターを付けて翼の前縁付近でかく乱を与えるると剥離が消滅する。

静止流体中でプラズマアクチュエーターを連続駆動させると一様流が発生するが、バースト駆動（パルス変調駆動）にすると間欠流になる。プラズマアクチュエーターの誘起流は速くなくのエネルギーが小さいために連続駆動による一様流では高い制御効果は期待できない。しかし、間欠流で流れに周期的な変動を与えて現象のタイミングを変えることにより全体の流れを変えることが期待できる。このようにして少ないエネルギーで流れを変えることを目指している。

例えば、流れの中に置かれた円柱にはカルマン渦列が発生して振動や騒音の原因となるが、プラズマアクチュエーターを円柱に張り付けて適当な周波数で制御するとカルマン渦列を減退させることができる。逆に周波数やタイミングを変えて増強することもできる。

プラズマアクチュエーターは耐久性や湿度の影響などで未だ実用化には至っていないが、実験室レベルで流れを制御する研究には使い勝手がよい。

昨年3月、研究室にゲッチングン型風洞が新設された。測定部は1m x 1m断面・2m長、最大風速は30m/s。岐阜大学航空宇宙生産技術開発センターの授業では、コンピュータで姿勢を自律制御する飛行機ロボットを学生に製作させるが、その時にこの風洞を使って制御パラメーターを設定する（右の写真）。授業の最後には競技会で性能を競う。名古屋大学でも同様な授業を行っており、年に1回、両校で優秀機を持ち寄って競技大会を開催している。



#### 2. エアロトレインとは

エアロトレインは、コンクリート構造の凹型ガイドウェイ内を翼の「地面効果」を使って効率よく浮上走行する高速交通システム。

右のイメージスケッチは、全長80m、幅12m、高さ4mの3両編成で350人乗り、電動モーター駆動のファン推力により浮上して時速50

0 kmの高速で走行。

従来は、高速走行するために空気抵抗に打ち勝って推力、即ちエネルギーを費やす乗り物が多かったが、この方法では消費エネルギーを増加し環境汚染に影響を及ぼす。他方、エアロトレインでは推力ではなく空気抵抗を大幅に減らすことによって高速を達成するコンセプトだ。

現在はカーボンニュートラルが当たり前だが、エアロトレインを発想した当時の2000年頃に、既に風力発電や太陽光発電、蓄電池、電気分解による酸素と水素、燃料電池などを組み合わせた自然エネルギーによる運航が研究の最終目標にされた。

エアロトレインは翼を使って浮上するが、翼は流体と力のエネルギー変換装置と言える。つまり、翼によって、流体の運動が力に、逆に力が流体の運動に変換される。例えば、風車は流体の運動である風から力を発生している。逆に扇風機はモーターの力を風に変えている。飛行機の場合、プロペラはエンジンの力で流れを作って推力を発生しているが、逆に翼は流れを受けて浮く力を発生する。ジェットエンジンでは、前方の翼が流れを作って空気を圧縮し、燃焼して速くなった流体の運動から後方の翼が一部のエネルギーを取り出して前方の翼を回転させる。レーシングカーの翼は飛行機と逆に下向きの力を出して車体を地面に押し付けてスリップを防ぐ。

翼には流れに対して直角方向の力が発生する。飛行機の翼では浮く力となり、それを「揚力」と言う。翼に揚力が発生する仕組みについては、誤った説明が周知されてしまった例になっている。その誤った説明とは、翼の先端で上下に分かれた流れが同時に後端に到着し合流するため、上の流れは移動距離が長いので流速が大きくなり、ベルヌーイの定理によって圧力は低くなる。下の流れは移動距離が短いので流速が小さくなり圧力は高くなる。従って、この上下の圧力差で揚力が発生する。この説明は全て誤っているのではないが、一部が誤っている。例えば、上下の距離の差がほとんどない薄い板のような翼では揚力が発生しないことになるが、実際には紙飛行機のような薄い翼でも揚力が出る。

揚力の発生原理として最も単純で分かり易い説明は、翼が流れの向きを下向きに曲げることによって、その反作用として揚力を発生する。これを出前講義で高校生に説明すると、丁度、ニュートンの運動の第3法則を習った時なので、よく理解してくれる。誤った説明は、上側と下側の流体が後端に同時に到着し合流せねばならないというところに誤りがある。後端に同時に到着し合流せねばならないという物理法則はない。何百トンもある重い飛行機でも翼で大量の空気を効率よく押し下げて浮いている。

圧力による説明を考えてみる。壁などが無い流体中で流れが曲がる場合、そこに働く力は圧力差のみであり圧力差で流れは、曲がる。翼の上側では大気圧に対して圧力が低いために流れが下向きに曲がる。逆に翼の下側では大気圧より圧力が低いために下向きに曲がる。つまり、翼の上下で低圧と高圧になって、その圧力差が揚力ということになる。

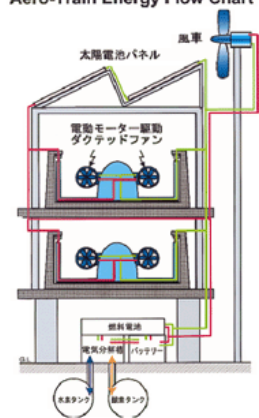
翼には揚力とともに抵抗となる抗力も発生する。平な板でも流れを下向きに曲げれば揚力が発生するが、翼は流線形の独特な形状をしている。その理由は、大きな揚力を得ながら、抗力を小さくするためである。揚力と抗力の大きさを表すには、揚力係数、抗力係数という値が使われる。揚力係数と抗力係数は、各々、揚力と抗力を（ $\frac{1}{2}$ の流体密度と速度の2乗に代表面積を掛けた値）で割って無次元化した値である。抗力係数は車の空気抵抗を表すのにも使われ、プリウスの抗力係数は0.26と言われている。

揚力と抗力の比は揚抗比と言われ、流体の抵抗を受けて進む飛行機などの効率を表すパラメーターになる。飛行機が水平飛行している場合、揚力は重力（機体の重量）と釣り合い、推力は抗力と釣り合っている。揚抗比が大きいと、同じ重さの機体に対して抗力が小さいので推力も小さくてすむ。逆に同じ推力に対してより重い機体を飛ばすことができるため、揚抗比が大きいほど効率が良い。

ちなみに現在のジェット旅客機は揚抗比が15~18と言われている。飛行機は効率が悪いというイメージがあるかも知れないが、実は機体重量に対して15分の1程度の推力で水平飛行ができる。しかし、加速、上昇する場合は大きな推力が必要になる。また、目的地までの燃料を運ばねばならない。離陸後しばらくは燃料を運ぶために燃料を使っていると言っても過言ではない。

流れに対して翼が向く角度を迎角（げいかく、むかえかく）と言う。迎角が10度程度までは、翼の揚力が迎角に比例して増加する。飛行機が離陸する時は機首を大きく上げて上昇するためにエンジンの推力で上昇していくようなイメージを与えるが、実際は揚力の増加によって上昇していく。但し、戦闘機では本当にエ

【図2】エアロトレインのエネルギーフロー  
Aero-Train Energy Flow Chart



エンジンのパワーだけで垂直に上昇できる機体もある。翼の形状によって異なるが、迎角が大きくなって15度程度に達すると、揚力は急激に下がる。これは翼の上の流れが剥離して流れを押し下げる効果が薄れるため、この状態を「失速」と言う。抗力は、迎角が $\pm 5$ 度の範囲までほとんど変化なく、そこから徐々に増えて失速とともに急激に増加する。

エアロトレインは、翼の「地面効果」を使って効率よく浮上して走行する。地面効果とは、翼が地面や水面などの境界面近傍を移動する時に発生する現象。第二次大戦中に艦載機が空母に着艦する際に絶好のアプローチをしても最後に揚力が働いて目標の場所に降りることが困難であったことが発見の契機になった。従って、どちらかと言えばネガティブなイメージの現象として捉えられた。

地面効果の発生原理は次のように説明できる。地面や水面の存在によって翼下面の圧力が上昇して揚力が増え、翼後方の「吹き下ろし」が減少して抗力が減る。その結果、揚抗比が増して効率が向上する。また地面効果の特性として、どの迎角に対しても、地面に近づくにつれて揚力係数が増大し、翼後縁と地面との距離(h)を翼弦長(c)で割った値(h/c)が0.1以下になる近辺から急激に増える。

琵琶湖で開催される鳥人間コンテストの滑空機部門は10mの高さから滑空して距離を競うが、昨年の優勝チームは533.58mも飛んで歴代新記録となった。この時の飛び方は、発射台から出発した直後に急降下して、高さのエネルギーを速度のエネルギーに変えながら、できるだけ水面に近づいて地面効果を巧みに利用した。この様子はYouTubeで見ることができるが、最後の水面に着く直前から地面効果によって距離がぐんぐん伸びていくのが分る。

他に、地面効果の有名な利用例で有名なのはハードディスクのヘッドだ。ハードディスクのヘッドは前が欠けたような形になっており、この下に空気流を導いて地面効果を発生させ、バネの力と釣り合わせて、近づけば浮く力が増え、離れれば戻るといった仕組みにして一定の高さを保って浮いている。エアロトレインも地面に近づくと反発力が増えるという地面効果の特性を利用して安定化させている。

飛行機では、翼端において圧力が高い下面から低い上面に回り込むような「翼端渦」が生成され、この渦の影響で下向きの流れができる。この下向きの流れによって翼後流の向きが変わり揚力の一部が抗力になる。これを「誘導抗力」と言う。グライダーのように細長い翼を使うと翼端渦の影響が減って誘導抗力も減る。

地面が近いと下向きの流れが地面で妨げられて誘導抗力が減ると言われている。実際に翼を風洞に入れて実験してみると、地面効果を測るには地面の模擬が必要なため、板を固定した固定地面版で模擬すると翼が固定地面版に近づくとともに抗力はどんどん減る。但し、実際は翼に対して地面が後方へ流れていく。これを模擬するために動くベルトの上で実験する方法がある。このムービングベルトを使った実験では、地面との距離が変わっても抗力はほとんど変わらない。つまり、誘導抗力は減るが、地面に近づくと空気を介して地面に引っ張られる影響が出るために地面に近づいても抗力の減少はそれほど効かないことになる。

地面に近づくと、なぜ翼下面の圧力が高くなるのか。一見すると、流路が狭まっているから空気が圧縮されて圧力が上がると思われるが、実は圧縮されるほど流れは速くない。これはベルヌーイの定理で説明できる。流速を煙の動きで測るPIV(Particle Image Velocimetry)装置を使って翼周辺の空気の流れを調べてみると、翼下面の流れが地面に近づくにつれて遅くなる。つまり、下面の流れが遅くなるためにベルヌーイの定理によって圧力が上がり揚力が増えることになる。これが地面効果である。

では、なぜ下面の流れが遅くなったのか。PIV装置で流線を見てもみると、流線は翼の前縁で上側と下側に分岐するが、地面からの距離が近いほど下側の流線が減っていき、流量が減るために流速が遅くなる。結局、地面が流れを妨げるために翼の上側を流れる流体の割合が増え、下側を流れる流体の流れが減って流速が遅くなって圧力が増える。

翼の下側の流れを遅くするために、翼の下面に何か妨害物を取り付けると良さそうに思われるが、それは翼自体の抵抗を増すだけで全く役に立たない。つまり、地面という翼とは関係ないもので妨げることによって揚力を増やすことが地面効果になる。

どのような翼型が地面効果に適するのか。多くの実験の結果、翼の下面と地面の隙間が下流に向かって減っていく翼型が最適だ。逆に翼下面が途中で狭くなって後方で広がっていく翼型は適さない。つまり、翼の後方の大気圧を基準に考えると、途中で流路が狭くなって流速が増すと圧力が低くなり、地面に吸い付けられて揚力が減る。従って、エアロトレインは下側が平な翼を使う。逆に途中で狭くなって後ろで広がる翼型は地面効果とは関係ないレーシングカーで使われる。

翼端版と称される板を翼の両端に取り付けると地面効果が向上する。

### 3. エアロトレインの研究

エアロトレインは、私が東北大学で助手の時に研究室の教授だった小濱教授が 1985 年頃から研究を始めた。小濱教授はスポーツ好きで乗り物好きでもあり、船舶免許や小型飛行機の免許をとってヨットやレジャーボートを持ち、自家用機を共同所有していた。エアロトレインの前は飛行機、特に後退翼の研究を行っていた。最近ではエアロトレインから離れているが、エアロトレインの研究をしている時に機体の軽量化を目指して難燃性マグネシウムを使ったが、その時に難燃性マグネシウムで容易に電池ができることを見つけて、最近ではエアロトレインから離れて、この方面の研究を行っている。この電池は古河電池(株)から「MgBox (マグボックス)」の名称で非常用電源として販売されている。マグネシウムの電極はぼろぼろになってなくなるまで使い切れるが、マグネシウム以外の電極では酸化被膜が生成するために途中で使用できなくなる。

地面効果を使った乗り物は「地面効果翼機」と称されて過去にもあったが、全て水面を浮上滑空するものばかりだった。旧ソ連で開発された「カスピ海の怪物」と呼ばれた機体は約 400 トンで時速 500 km の飛行に成功した。西ドイツではレジャーボートとして「ヨルク」が開発された。水面上を浮上滑走する機体は、波が高いと運航できない、という欠点がある。地上を浮上走行するエアロトレインには、そのような制約がない。

エアロトレインの研究では、風洞実験によって地面効果のメカニズム解明と設計の基本データ取得のために風洞試験を行った。また、実際にモデルを浮上走行させる実験も行った。このようなコンセプトの乗り物が本当に可能なのか、と疑問視する意見が多かったため、走行実験はデータ取得よりも実証試験の意味合いが強かった。

### 3. エアロトレインの走行実験

モデル走行実験は宮城県日向市のリニアモーターカーの実験線跡地で実施された。リニア実験線は 7 km の直線だったが、リニアで使われていた下と横の多数のコイルをすべて撤去して舗装し、幅 3.5m、側壁高さ 1.7m、全長 2.4 km の直線ガイドウェイが完成した。元々、全長 7 km あった実験線の残りの部分はソーラパネルを並べたメガソーラ発電所になって、当時は日本で一番長い発電所と呼ばれた。その後、別の予算がついた機会にここに「曳航風洞」にした。つまり台車に模型を付けて走行することで実際と同じ状態で試験できる装置となった。

走行試験の機体は、ART001 (1999 年～2001 年)、ART002 (2002 年～2009 年)、ART003 (2010 年～) の 3 機製作して実験した。幅に制限がある中で翼面積を増やすため 2 枚の翼を前後に配置した「タンデム翼」とした。地面効果は一旦浮くと揚力が増えて頭上げモーメントが発生し、それが迎角を増やして揚力を増し更に頭上げモーメントを助長する。タンデム翼の場合、頭上げモーメントが発生すると、迎角による揚力は前翼と後翼で増加するが、地面効果による揚力は前翼では地面との隙間が大きくなって減り、後翼では地面との隙間が小さくなって増え、全体で頭下げモーメントが発生して安定化する。実際には、機首上げになると機体が大きく浮いてしまう傾向が見られたため、実験では、できるだけ水平か、やや頭下げにしている。翼の左右の両端に「垂直翼」を取り付けることによって、同じように地面効果と迎角でヨーイング(左右の振れ)を安定化させる。

1 号機の ART001 (右の写真) は資金が限られたため、模型飛行機のような構造になった。胴体はアルミのパイプを 3 本通して、その間にトラス構造を作って発砲スチロールを貼り、更に表面に合成繊維の布を貼った。主翼は本当に模型飛行機そのもので、バルサ材の構造に合成繊維の布を貼った。幅が約 3.5m、全長が約 8m と大きな機体になったが、重量は約 110kg で軽量化できた。

この 1 号機を使った実験では、先ず鉄骨フレームの台車に固定して実験した。最初からいきなり浮上走行してガイドウェイから落下することを最も心配したためだ。このガイドウェイの近くを JR 日豊線が走っており、万一、この上に落下したら、このプロジェクトは終了になるため、非常に気をつけて実験に取り組んだ。

最初の「ステップ 1-1」として、台車を自動車で押しながらデータを取得する「曳航式浮上走行」を行っ



た。センサーの配線は全て自動車まで引いて自動車内のデスクトップパソコンで計測制御した。加速・減速・ブレーキは自動車で行った。その結果、やはり地面効果だけでは安定性が不足していることが判明し、前後の翼に補助翼を付けてコンピュータ制御で動かした。加速度計やジャイロを使って姿勢を計測しようとしたが、当時の機器は性能がよくなく、どうしても誤差が蓄積して上手くいかなかった。結局、レーザー距離計で直接地面や壁との距離を計測して姿勢と位置を求め、簡単なP制御で姿勢制御した。

ラダーのサーボモータが動かなくなった時は、針金とワイヤーで自作したメカによって、側壁に近づくとラダーが作動するようにした。これはメカニカルラダーと呼んでいた。(動画上映)

この実験でガイドウェイから落下する可能性がなくなったので、次の「ステップ 1-2」では、台車から少し切り離れた「半自立浮上走行」で実験を行った。台車から切り離して浮上走行する推力として、静止推力 150N (約 15kg) のラジコン模型飛行機用ジェットエンジンを取り付けた。機体は台車から切り離れたが、制御計測の配線は自動車と繋いだままにした。ブレーキがないため、台車と機体をロープで繋いだ。(動画上映) この時はテレビが取材に来て、ガイドウェイの横にテレビのカメラが並んだ。

このようにして安全に実験できる確証を得たので次の「ステップ 1-3」では、台車を完全に切り離して「完全自立浮上走行」を行った。エンジンはそのまま使ったが、ブレーキとして機体後部に取り付けたパラシュートを使った。計測制御は全て機体に搭載のノートパソコンを使った。電源も機体搭載のバッテリーを使った。(動画上映) このようにして 1 号機の実験で、実験の手法を確立された。

次の 2 号機 ART002 (右の写真) は、小淵首相の時に打ち出された「ミレニアムプロジェクト」の公募を通り製作され実験が行われた。1 号機は改良により機体が重くなり過ぎて強度不足のため速度を上げることができなかった。従って、2 号機はもう少し揚抗比を向上させることを目指して設計した CFRP 製の機体だ。但し、ミレニアムプロジェクトも潤沢に予算があったわけではないため、実際の飛行機のようなドライカーボンではなく、ウェットカーボンにして、乗用車のエアロパーツの製造やボートの修理をしている延岡市の小さな業者に依頼して製作した。重量は約 400kg で 5kw のモーター 2 個でプロペラを駆動して推進する。



1 号機に比べてかなり重くなって揚力を増かせねばならないので幅や全長はほぼ同じだが、1 号機の翼弦長が 1m なのに対して 2 号機は 1.5m に大きくして翼面積を増やした。但し、翼弦長を 1.5m に大型化したために実験上の弊害も発生した。実験後にガイドウェイで止まった後、コンピュータなどが機体の中にあるが、人が翼を容易に跨いで超えられなくなった。無理に超えようとして翼の一部を壊したことがある。

姿勢制御はレーザー距離計で測定した姿勢データによる PD 制御。プロペラ回転とブレーキは一応コンピュータでも制御できるようにしたが、確実に停止しないと怖いので最後まで後ろを追いかけていく自動車の中からラジコンのプロポで制御した。

2 号機による最初の実験「ステップ 2-1」では、当初、モーターでなくて 2 気筒 160 cc のラジコン模型飛行機用の水平対向ガソリンエンジンを使った。なるべく軽くして浮上速度を遅くすると長時間飛べるのでデータもいろいろ取得できる。ブレーキは機体後部のパラシュートに加えて車輪ブレーキを付けた。1 号機では、追い風でパラシュートが想定通りに作動せず、車輪ブレーキがなかったため、ガイドウェイに設置されていたコイルにぶつかって翼をを損傷した。最後は人が走れば追いつく程度の速度になるのだが停止できなかった。(動画上映)

次の「ステップ 2-2」実験は、モーター駆動に変更した。軽量の良いモーターが見つからず、結局、ソーラーカーレースのモーターを使った。電池は当初ニッケル水素電池を使ったが重いため、その後リチウムイオン電池に変えた。モーターは左右で逆回転にできず、同方向に回転するため、最初は大きく揺れる。(動画上映) 動画で煙が上がっているのはガイドウェイに多少こすっているため。基本的に角度が薄いのでこすっても損傷にはならなくて、金属の当て板を付けて補強した程度で済んだ。

2 号機はこのようにして時速 120 km、揚抗比約 16 を達成した。揚抗比の測定方法は、定常飛行状態で自重と揚力、推力と抗力が各々釣り合っていることを利用した。推力については、プロペラは速度に応じて推力が減るため、先ず風洞でプロペラ回転数と風速の関係を求めた。次に静止推力での走行モデルと風洞実験の



結果を比較して、プロペラ回転数と推力の関係を求めた。この時に、データから架台の影響はほとんどないことを確認した。実際に浮上走行している時のデータを見ると、速度 30 m/s で回転数 5000 回転というのが分かったので、この時の推力をみると約 12.5kgf になる。これが 2 個あるので全体で 25kgf に対して重量が 400kg なので、揚抗比は 16 と算出される。

最後となる 3 号機 ART003 (右の写真) は、2 号機よりも更に速度と揚抗比の向上を狙った。更に小濱教授を乗せる有人浮上走行も目指した。マグネシウム合金製の機体重量は約 400kg で 2 号機と同じだが、乗客 2 人分の重量を含めて総重量 520kg になった。この頃にはラジコン向けのモーターも結構良いものあって、1 個で 10kw もあり、小型なので前後で 2 個タンデムに配置し、左右で計 4 個にした。ブレーキは 2 号機と同様にパラシュートと車輪ブレーキを作動させ、制御と計測は機体搭載の制御コンピュータを使った。モーター用の電池もラジコン模型用のリチウム電池を使ったが、短時間なら驚くほどの電流を取れる。また、この頃から制御の先生も加わって、運動方程式を解いた制御理論を使った。(動画上映)



3 号機 ART003 の成果は、①マグネシウム合金製の軽量・高強度な機体の開発 ②最高速度 180 km/h 野達成 ③揚抗比 17.9 の高効率を達成 ④有人浮上走行に成功。

実験に対するマスコミの注目度は非常に高く、いろいろとテレビ放映された。

残念ながら 2011 年でプロジェクトは終了して、その後は動いていない。しかし、有人浮上走行まで成功したので、この後は、実用化を目指して、大学レベルよりも企業レベルで取り組んでいただくことを願っている。そのため、現在も風洞実験や小型実験機を使った制御の実験は続けており、機会があればデータを提供できるように準備している。

## 5. 学生フォーミュラの紹介

大学では、「学生フォーミュラ」というサークル活動の顧問もしている。全長 3m 弱、幅 1.5m、重量 250kg 程度のフォーミュラマシンを学生達が自ら設計製作して「学生フォーミュラ日本大会」において競い合う。この活動は学生の工学教育に非常に効果があると言われている。昨年で第 20 回大会になったが、鳥人間コンテストなどと比べて知名度が低い。

参加資格は大学院生や高専生、自動車専門学校生も含む。出来上がった車の速さだけを競うのではなく、車作りの過程も競う。アメリカから始まって、世界選手権になっている。日本選手権の「学生フォーミュラ日本大会」など、世界 11 カ国で開催されている。

元々、アメリカでは「ものづくり」教育の一環として始まった。つまり、大学の授業は座学が多いために学生達にとっては「これは何に使うのだろうか？」と疑問を持ってモチベーションが下がってしまう。このモチベーションを上げるために始まったが、アメリカで好評だったので日本にも導入された。

ちなみに岐阜大学は第 4 回大会から参加している。2 年前はコロナ禍で中止になり、次の大会はオンライン開催になって車を走らせることができなかったが、それ以外のプログラムは実施された。(右の写真は昨年の岐阜大学チーム)



主催者は「公益社団法人・自動車技術会」。例年、90 チーム程度が参加する。コロナ禍前の最後の大会となった 2019 年は、国内 68 チーム、海外 22 チームが参加した。国内 68 チームの内訳は、大学 60 チーム、高専合同 1 チーム、自動車専門学校 7 チーム。コロナ禍が続いた昨年は国内チーム限定になったが、54 チーム、約 7000 人が参加した。

中部地域からは、岐大、名大、名工大、金沢大、静岡大、福井大、富山大、豊橋科学技術大などの国立大学勢に加えて、名城大、静岡理工科大、金沢工業大、愛知工業大などの私大勢も出場している。

英文 137 ページの膨大なレギュレーションに従って車を設計製作する。エンジンは 710 cc 以下、電動モーター

ターは 80 kw に規定される。今は電動モーターのチームが増えている。車体の大きさは最低寸法が決まっているだけだが、大きくなると重く曲がりにくくなる。ウイングの寸法は細かく規定している。ドライバーを守るために車体フレームは材質やトラスの組み方など細かく規定している。軽量化のために炭素繊維複合材 (CFRP) のモノコック構造を使う場合は、鉄パイプ構造と同等の強度があることを自分達で証明しなければならないため、提出書類がすごく増える。車は自分達で設計するが、製作は町工場やスポンサーに依頼してもよい。

技術車検では、まずレギュレーションに合致していることを検査する。ブレーキ検査、騒音検査、車体を傾斜させて冷却水の漏れやタイヤの浮きを検査するチルト検査、EV の場合は水をかけて漏電を検査するレインテスト、5 秒以内にドライバーが脱出できるかを検査する脱出テストなどがある。

静的審査では、コスト審査、プレゼンテーション審査、デザイン審査の 3 種目がある。コスト審査では値段の安さと値段計算の書類の正確性が問われる、プレゼンテーション審査では、自分達が作ったマシンを製造委託する会社に対して販売計画や利益計画などを説明する。デザイン審査では設計コンセプト、設計理論、製造方法などが問われる。ここまでで配点が 3 分の 1 ほどあり、これ等を断念しても中盤位には入ることができるが、更に上位を目指すには、このようなことも的確に対処しなければならない。

動的審査では、アクセラレーション審査、スキッドパッド審査、オートクロス審査、エンデュランス審査、効率検査の 5 種目がある。アクセラレーション審査は、0~75m 加速の時間を測定する加速性能。スキッドパッド審査は 8 の字コースを走る時間を測るコーナリング性能。オートクロス審査は、ターンやスラロームなど 1 周 800m のコースで速さを競う。エンデュランス審査は 1 周 1 km のコースを 20 週する耐久性能。効率審査はエンデュランス走行時の燃費 (電費)。エンデュランスを完走できるか否かで順位が大きく変わるため、エンデュランス完走を目的に 1 年間活動する。以上のように単に速いだけの車では勝てない。車の設計と製造工程を学生達に体験させることが、この大会の目的である。

2019 年大会は名工大が総合優勝した。それまで名工大は車では速かったものの書類が苦手な 2 位、3 位に甘んじていたが、その年は上位がエンデュランス走行をリタイアしたので勝利した。文系の学生が入れば書類作成で活躍できるが、残念ながら名工大には文系学生がいない。

大会は 9 月に開催されるため、前年の 10 月頃から設計を始めて、早いチームは年内に製作開始する。岐大チームは、CAD で設計し CAM で強度・流体・熱解析を行って、年明け頃から製作開始する。工場の旋盤やフライス盤を借りて自分達で作るが、NC 機械の場合は外部に依頼する。できるだけ早く完成し、スポンサーになっていただいているサーキット場などを借りて試走する。大会でエンデュランスまで走行できると非常に達成感があるのだが、リタイアの場合は非常に悔しい思いが残る。

いろいろな場所で車を展示する機会を得ている。コロナ禍前までは、毎年、瑞浪のサイエンスワールドで展示していた。FC 岐阜に呼ばれてサッカー試合の前に展示したこともある。20 回も大会が開催されているのだが、知名度が低い。大学生には知れているけれど、一般の方々にはなかなか知れ渡らない。これが課題でもあり悩みの種になっている。

鳥人間コンテストとは違って、学生フォーミュラはスポンサーを持ってもよい。ちなみに大会スポンサーは自動車メーカーなど 130 社以上に達している。我が岐阜大学チームは地元企業主体に 72 社のスポンサーから協力を得ている。

## Q & A

Q: 最近の旅客機の翼端には垂直か斜めに付く小さな翼があるが、あれはエアロトレインの垂直翼と同じ役目ですか?

A: 旅客機の翼端に付く翼は、ウイングレットとも呼ばれて翼端渦を減らす役目だが、エアロトレインの垂直翼は側壁と間隙で地面効果を発生させる役割です。

Q: エアロトレインの車輪は将来的にも残るのですか?

A: 実用化する時には、飛行機のように「引き込み脚」になると思います。

Q: エアロトレインの将来的な速度は?

A: 元々、リニアと同じ時速 500 km を目指していたが、ガイドウェイの全長が 2.4 Km しかないために実験では速度が出せなかった。

Q: もしエアロトレインを実用化した場合、単位長当たりの建設費はリニアと比べてどうでしょうか?

A：建設費まで考えていませんでした。

Q：他国でもエアロトレインを研究していますか？

A：このコンセプトでは、今のところ聞いていません。

以上

来賓講演メモ作成：田島 暎久（航空・宇宙部門）

#### 参考：最近のニュースより

ヤマトホールディングス、水面飛行の電動「シーグライダー」開発企業に出資 - Impress Watch, 2023年3月29日 12:50（記事：太田 亮三）

ヤマトホールディングスは、水面上を飛行する「シーグライダー」を開発中の米 Regent Craft (REGENT)に出資したと発表した。

REGENT が開発中の電動シーグライダーは、水面上から数メートルの高さを飛行する地面効果翼機に分類される機体。沿岸都市間を低コストで高速・安全に飛行できるとし、旅客輸送や貨物輸送の新たな手段として開発が進められている。



REGENT 旅客タイプのイメージ

REGENT のシーグライダーは離着水時に機体下部から水中翼を伸ばし振動が少ない安定した低速飛行が可能。バッテリー駆動で飛行中にCO2を排出しない駆動になる。

ヤマトホールディングスはREGENTの高い技術力や競合優位性を評価、「KURONEKO Innovation Fund」を通じて出資を実行した。

REGENT に対してはすでに、ロッキード・マーティンやJAL、ハワイアン航空など、さまざまな企業が出資を行なっている。

なお2022年5月には、1/4スケールにあたる翼幅約5mの機体の無人飛行に成功、現在は有人飛行に向け開発が行なわれている。



1/4スケールのプロトタイプ



飛行試験の様子