

エアロトレインのしくみと開発の現状

報告：菊地 正憲 先生

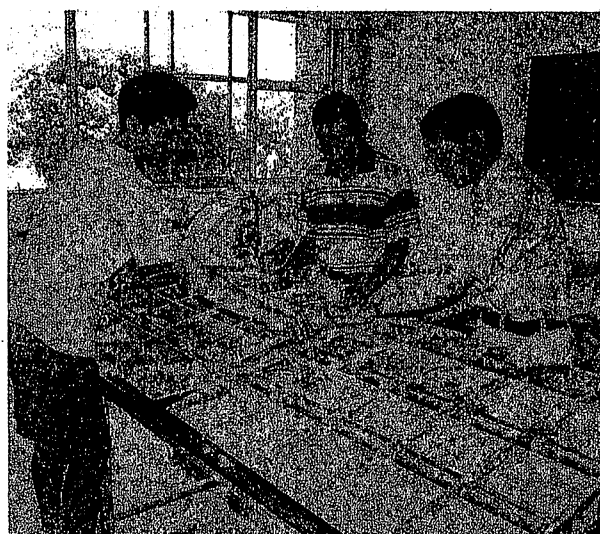
(宮崎大学工学部機械システム工学科教授)

日時：2001年3月31日(土) 14:00～16:00

場所：宮崎市中央公民館 大研修室

資料集目次

1. 菊地報告レジュメ	
2. エアロトレイン構想	p.1～2
3. 地球温暖化問題	p.3～9
4. ミレニアムプロジェクト	p.9～13
5. 地面効果	p.14～19
6. エアロトレインの親戚	p.20～24
7. 開発の現状	p.25～28
8. 資料	
①MRT サンデーラジオ大学	p.29～32
②エアロトレイン：宮崎大学実験モデル Mars	p.33～37



主催：日本科学者会議宮崎支部

エアロトレインのしくみと開発の現状

1 エアロトレインの概要

2 地球温暖化問題

3 ミレニアムプロジェクト

4 地面効果

5 開発の現状

6 ビデオ

6.1 東北大学・宮崎大学の実験

6.2 カスピ海の怪物

エアロレインのしくみ と開発の現状

科学者会議
第7回市民講座
2001年3月31日



宮崎大学工学部機械システム工学科

菊地正憲

科学者会議第7回市民講座

2001/3/31

1

エアロレイン構想

- 二酸化炭素などの排気ガスを出さない**クリーンな交通システム**
- 軌道敷地内に設置した**太陽電池**や**風車**で発電した電力(**自然エネルギー**)だけで、プロペラを回して推進力を得て、**翼で浮上**して時速500km/hで走行
- 翼に働く「**地面効果**」を利用して効率を高めている

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

2



リニアモーターカー

[linearmotor car]

低騒音・低振動で直線運動をするリニアモーターを利用した新しい交通手段。次世代の大都市間長距離および大都市圏内近距離輸送の活路として期待されている。日本では超電導磁石方式による鉄道総合技術研究所(JR総研)の**マグレブ**(magnetic levitation 磁気浮上の略)が1962年に研究開発を始め、97年度から本格的走行実験開始、鉄道の最高速度(有人5両編成で552km/時、無人3両編成で550km/時)を記録している。JR東海を中心に山梨実験線をそのまま一部転用して東京―大阪間を1時間で結ぶ**中央リニア新幹線**構想も推進されている。また常電導磁石方式による日本航空系の**H S S T**(high speed surface transport 高速地表

輸送機)は時速200~300kmながら工費を含め経済性で勝り、首都圏全域に路線網を張りめぐらす**首都圏リニアネットワーク**構想も示されている。海外ではドイツの**トランスラピッド**が、2005年にハンブルク―ベルリン間292kmの商業運航開始を目指し実用化試験を進めていたが、事業採算性の問題から計画が中止となり、数十km程度の代替区間の検討や、中国・上海市の鉄道計画(42km区間、総事業費60億元<約780億円>、2003年営業開始)など外国への売り込みで実用化を図ろうとしている。また次世代の超高速交通機関の対抗馬として、東北大学流体科学研究所の**エアロトレイン**の開発実験も注目される。

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

3

目次

- 地球温暖化問題
- ミレニアムプロジェクト
- 地面効果
- エアロトレインの親戚:WIG
- 開発の現状
- ビデオ
 - ◆ 東北大学・宮崎大学の実験
 - ◆ カスピ海の怪物

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

4

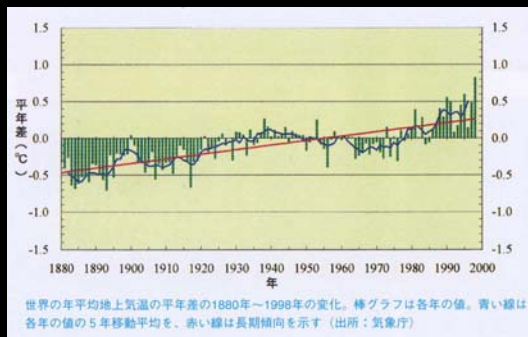
地球の温暖化

■ ハワイ、マウナロア観測所

- ◆ 1950年代から大気中の二酸化炭素を測定
- ◆ 98年の増加率が過去10年間の平均の2倍

■ 気象庁

- ◆ 98年の世界の平均地上気温の年差はこれまでの最高値の0.6度を抜き、0.82度に！



- 世界の年平均地上気温の年差の変化
- 棒グラフは各年の差
- 青い線は各年の差の5年移動平均
- 赤い線は長期傾向を示す。

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

5

100年後の日本(気温上昇2度のとき)

地球温暖化の調査研究の国際組織IPCCによれば、このまま二酸化炭素が増加すると、100年後世界の平均気温は2℃上昇する

1. 国土：砂浜の約7割が水没

- ◆ 海面が50cm上昇すると、砂浜7割が水没し、海水浴を楽しめる砂浜がほとんどなくなる
- ◆ 1mの上昇で東京湾にみられるようなゼロメートル地帯が約2.7倍に増加

⇒災害のリスクが大きい

2. 水：水害が多発、水不足も深刻化

- ◆ 降水パターンが変化
- ◆ 集中豪雨による洪水や渇水、干ばつなどが頻発

3. 農業：日本人の主食、米に大影響

- ◆ ジャポニカ米は、温度上昇に適応した品種が少ない
- ◆ 代わりにインディカ米が増加
 - 93年冷夏の時に輸入されたインディカ米は、日本人の口に合わず多量に残った

4. 健康：日本もマラリア流行の危険

- ◆ 熱帯や亜熱帯でみられる感染症の媒介動物の生息地が拡大
- ◆ 猛暑が高齢者に及ぼす影響
- ◆ 大気中の光化学反応を助長、光化学スモッグの発生頻度が増す

2001/3/31

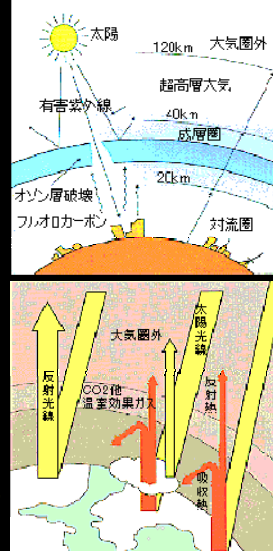
科学者会議第7回市民講座

6

地球温暖化防止会議・京都議定書の概要

(COP3＝気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約会議、1997年12月)

- 温暖化ガスの総排出量を、2008年～2012年中に基準年比で6%削減する。
 - ◆ (アメリカ:7%削減 EU:8%削減)
 - ◆ 二酸化炭素など(基準年1990年)
 - ◆ HFC冷媒など(基準年1995年)
- 日本では
 - ◆ 1989年:地球環境保全に関する関係閣僚会議設置
 - ◆ 1990年:地球温暖化防止行動計画を決定
 - ◆ 1997年12月:内閣に地球温暖化対策推進本部設置



2001/3/31

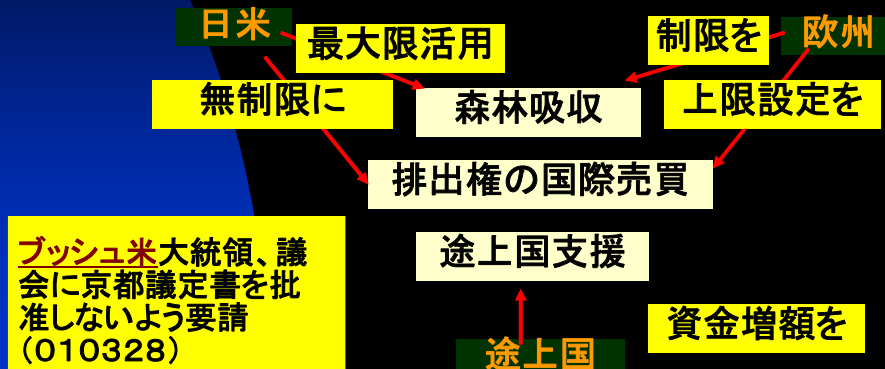
科学者会議第7回市民講座

7

第6回地球温暖化防止会議(2000年11月)

気候変動枠組条約締結条約(オランダ、ハーグ)

- 温暖化ガス削減物別れ
 - ◆ 京都議定書の発効困難に
- 地球温暖化防止ハーグ会議の争点



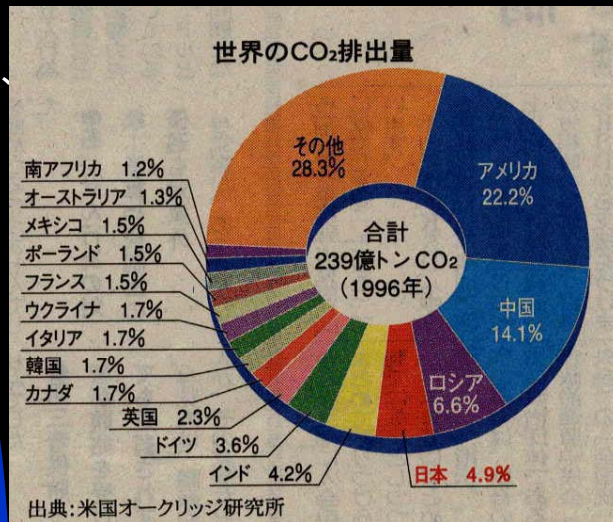
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

8

世界の二酸化炭素排出量

- 日本の二酸化炭素排出量は、世界全体の排出量の4.9%
- わが国における二酸化炭素の排出量削減は大きな責務



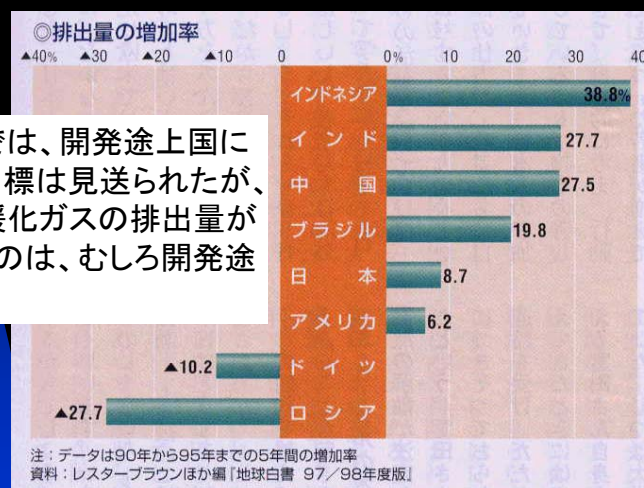
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

赤旗2000年11月12日 9

排出量の増加率

- 京都議定書では、開発途上国に対する削減目標は見送られたが、近年特に温暖化ガスの排出量が増加しているのは、むしろ開発途上国



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

月刊「ざ・にじゅういち」No.195(2001/01)

10

キーワード

■ 森林吸収

- ◆ 京都議定書は、森林の樹木などが吸収する二酸化炭素の量をその国排出削減実績として認める原則を盛り込んでいる。
- ◆ 日本は削減目標の6%のうち3.7%を森林吸収で賄う予定

■ 排出量取引

- ◆ 温室効果ガスを目標よりも多く削減した国が、「余った排出量」を目標を達していない国に金銭で取引できる制度。
- ◆ ロシアや東欧の排出枠を買う事態が予想される。

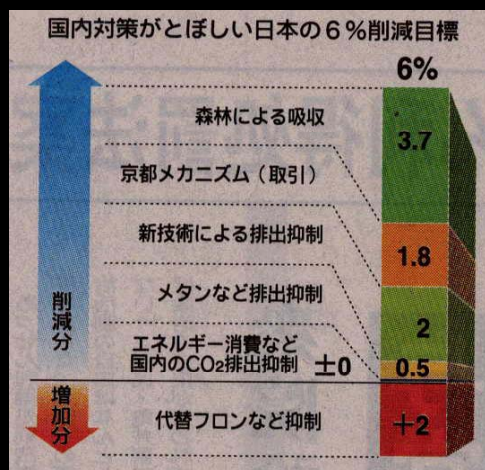
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

11

日本の6%削減目標

- 98年の二酸化炭素排出量は90年よりも5.6%増加し、2010年には90年比約20%増に達することが予測される。
- ところが、政府は、森林による吸収分を3.7%、「抜け穴」の京都メカニズム1.8%を計上してして6%になるとしている。
- 原子力発電
 - ◆ 4,525万kW(97年)
 - ◆ 7,050万kW(2010年)



赤旗2000年11月12日

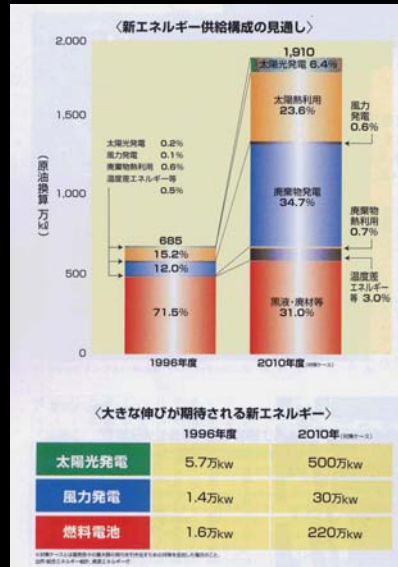
2001/3/3 ◆ 約20基分

科学者会議第7回市民講座

12

新エネルギー供給構成の見通し

- 京都議定書で課せられた課題を満たすためには
- 総合エネルギー調査会需給部会 2010年までの長期エネルギー需給見通しの中間報告(98年6月)
 - ◆ 基準ケース(経済成長率2%程度)から最終エネルギー消費量で、5,600万KI(原油換算)の削減が必要
 - ◆ そこで期待されているのが新エネルギー
- 総合資源エネルギー調査会
 - ◆ 2010年の風力発電容量を300万KWに伸ばせるとの試算(現行目標の10倍)
 - ◆ 朝日新聞社説(010308)



2001/3/31

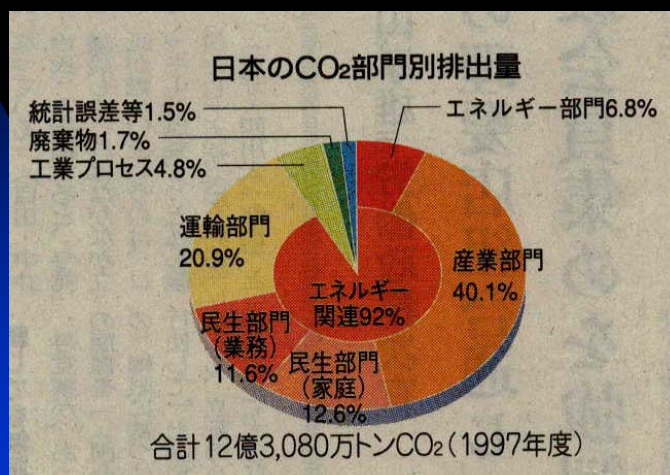
科学者会議第7回市民講座

環境会議Vol.3(2000)

13

二酸化炭素排出の部門別内訳

- 運輸部門は全体の約20%
- 産業部門に次いで2番目



赤旗2000年11月12日

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

14

NHKスペシャル

「エネルギーシフト」

2001年2月10日 土 放送

第1回 電力革命がはじまった ～ヨーロッパ・市民の選択～

- ヨーロッパで化石燃料から自然エネルギーへの転換が始まっている



- その背景には、「自らが使うエネルギーを自ら選ぶ」市民の意識変化と政治の決断があった。
- エネルギーシフトの最前線を追う。

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

15

「エネルギーシフト」

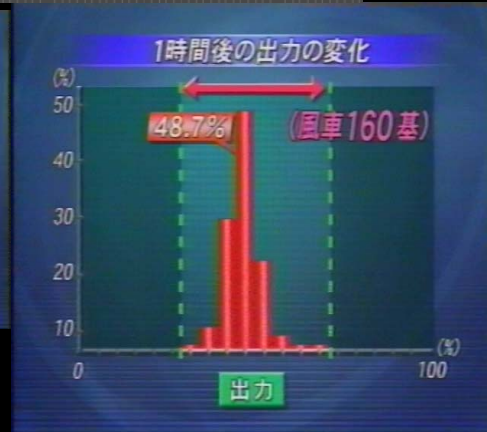
2001年2月10日 土 放送

第1回 電力革命がはじまった ～ヨーロッパ・市民の選択～



- 不安定性克服 (ISET)
- 1時間後の出力
- 風車1基のとき
 - ◆ 同じ出力のケースは 21.7%
 - ◆ 変化の幅も0～2倍

2001/3/31



- 風車160基のとき
 - ◆ 同じ出力のケースは48.7%
 - ◆ 変化の幅は±20%に減少

科学者会議第7回市民講座

16

新エネルギーのメリット

1. 新エネルギーとして代表的な太陽や風力等の自然エネルギーは地球温暖化の原因となる二酸化炭素などのガスを排出しない
2. 新エネルギーの多くは再生可能で、無尽蔵なエネルギーであり枯渇の心配がない
3. 新エネルギーは地域的エネルギーが中心。需要地と近接しているため輸送中のロスが少ない。
 - ◆ エアロトレインにとって特に有利な点
4. 新エネルギーは普遍的に存在するエネルギーが中心
 - ◆ 海外にエネルギーの大部分を依存する日本のエネルギー供給構造の弱さを克服できる

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

17

ミレニアム・プロジェクト(故小渕恵三前首相)の趣旨:
新しいミレニアムに向かって、

“社会に明るい夢と希望をもたらし、
人類の幸せに大きく貢献できる革新的な技術開発”

を公募する

○我々を取り巻く環境:

- 深刻な地球温暖化問題
(化石燃料の無秩序大量消費が原因)
- 出口の見えない我々の将来
- もうこれ以上エネルギーを使えない現実

○本研究プロジェクトの目的:

- 1000年後の子孫からも高く評価される新しいライフスタイルと、エネルギーシステムへの突破口を開くこと

○本研究プロジェクトのゴール:

- 時速500kmという、未だ地上に存在しない高速型輸送システムを、自然エネルギーのみ
- (ゼロエミッション)で実現、環境に負担をかけない
- [環境親和型エネルギーシステム]の可能性を
- 交通物流部門から実証すること

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

18

本研究プロジェクトのフォーメーション



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

19

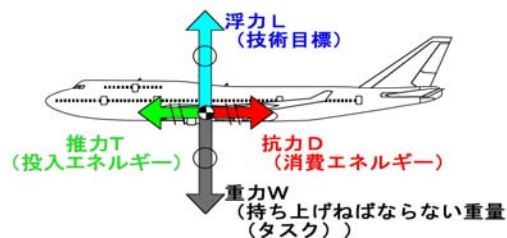
環境親和型システムの基本コンセプト

たとえば 航空機

高速飛行を達成するのに

これまでの科学技術：**推力T**を増やす⇒エネルギー消費の増加⇒環境汚染の原因
本プロジェクト：**抗力D**をシステムとして1/2、1/3、1/10に減らす
(消費エネルギー)

自然エネルギーの有効利用が可能に
本研究プロジェクトで実証
もうこれ以上消費エネルギーを増やさない！



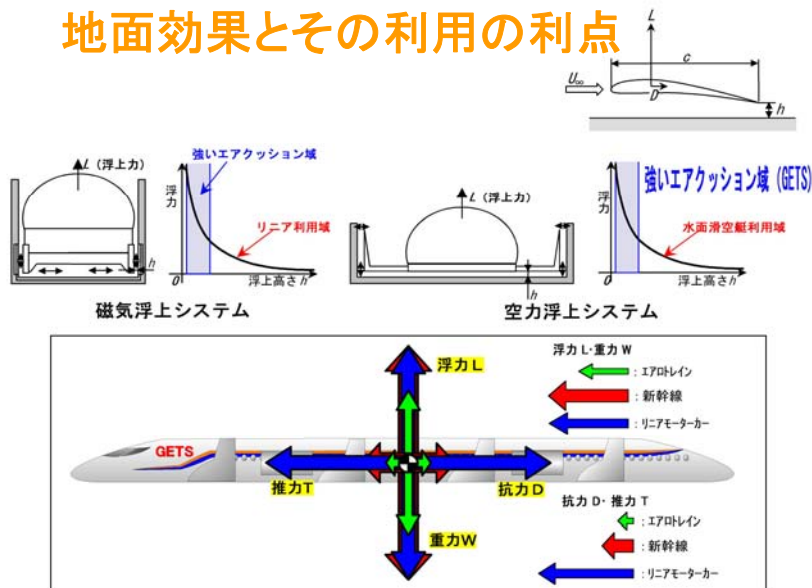
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

20

地面効果とその利用の利点



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

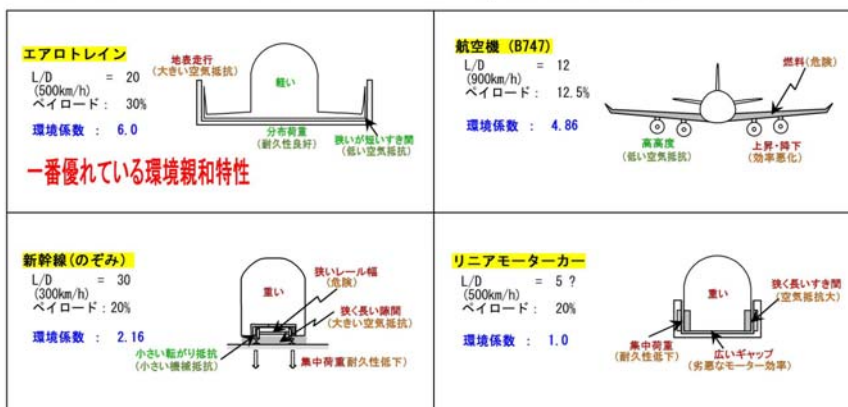
21

各種乗り物の環境親和特性の比較

$$\text{ペイロード} = \frac{\text{荷物重量}}{\text{総重量}} \times 100 (\%)$$

$L/D = \text{総合揚抗比 (重量} W \text{を持ち上げるのに必要な力)}$

$\text{環境係数} = (L/D) \times (\text{速度}/500)^2 \times \text{ペイロード (値が大きいほど良い)}$



2001/3/31

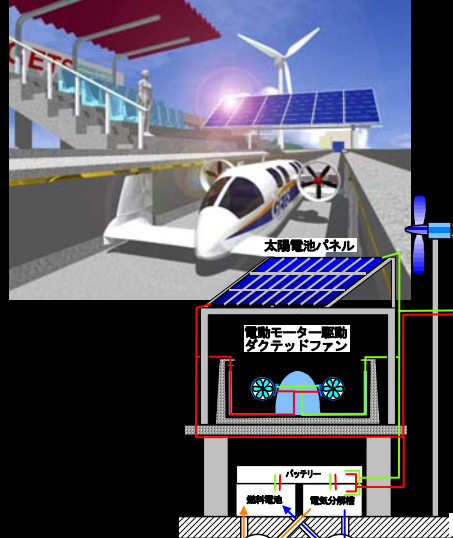
科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

22

最終目標と本研究プロジェクトの目的

- 最終目標:
- 技術的に極めて困難である
時速500km走行の高速輸
送システム(三両編成、325
人乗り)
- をゼロエミッションで実現す
る事
- 本プロジェクトの目的:
- その第二ステップとして、無
人で時速150km走行のシ
ステムを研究開発する事
- ミレニアムプロジェクトの趣
旨にピッタリ合致する提案



東北大学提供

2001/3/31

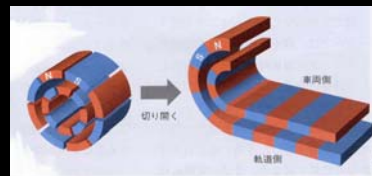
科学者会議第7回市民講座

23

リニアモーターカー



- 山梨実験線における走行実験
(1997~1999年度)
- ◆ 最高速度550Km/h
(5両編成)
- ◆ 相対すれ違い速度
1000Km/h



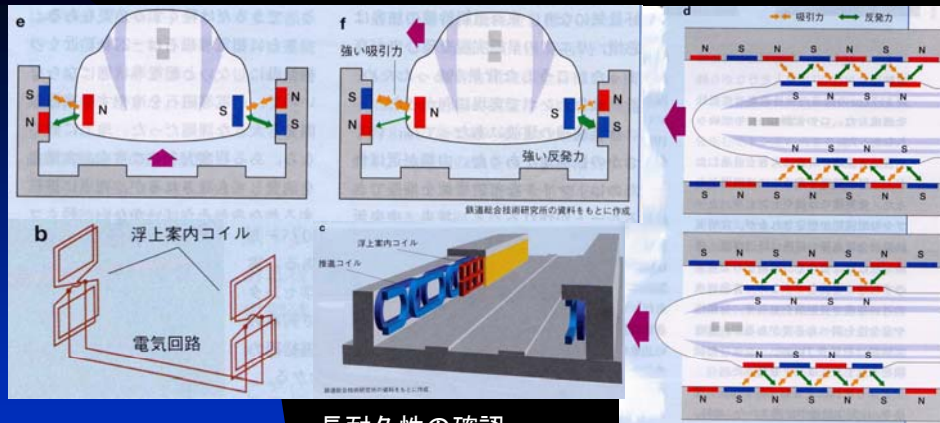
日経サイエンス4,2000

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

24

リニアモーターカー



今後5年間
(2000年～)
の計画

2001/3/31

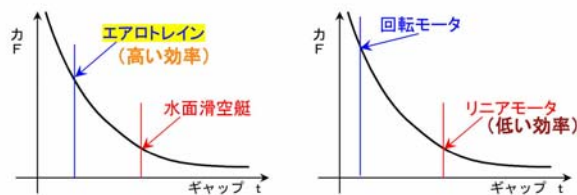
- 長耐久性の確認
- 車両の空気力特性の改善
- コスト低減

日経サイエンス4,2000

科学者会議第7回市民講座

25

浮上および推進効率の比較



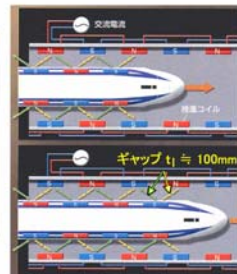
エアロトレイン



水面滑空艇



ギャップ $t_r \approx 1\text{mm}$



リニアモーター

ギャップ $t_l \approx 100\text{mm}$

モーター効率差10倍前後

2001/3/31

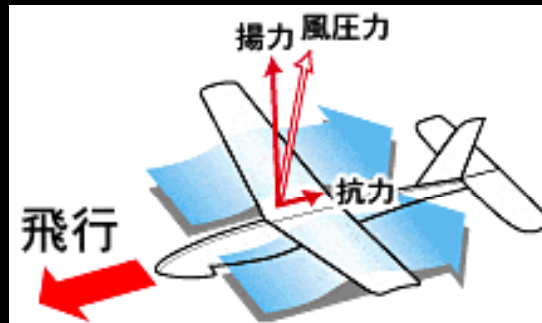
科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

26

地面効果

- ラム圧の増加
- 誘導抵抗の減少
- 紙飛行機の例(NHK宮崎放送局)



[Http://www.agport.co.jp/Whitewings/](http://www.agport.co.jp/Whitewings/)

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

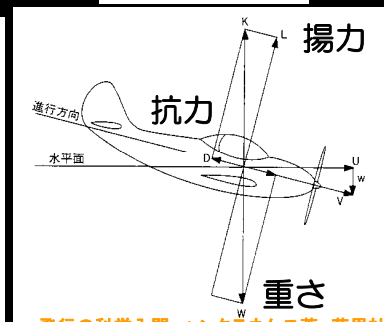
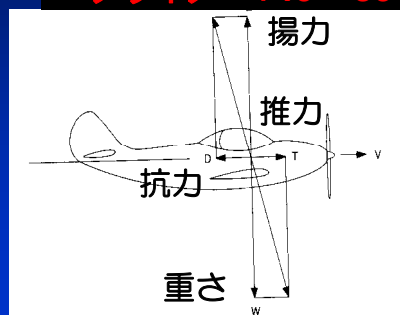
27

揚抗比、滑空比とエアロレインの性能の関係

$$\text{エネルギー消費率} = \frac{P}{WV} = \frac{TV}{WV} = \frac{D}{L} = \frac{1}{\text{揚抗比}}$$

- ジャンボ:15
- グライダー:40~60

$$= \frac{w}{U} = \frac{1}{\text{滑空比}}$$



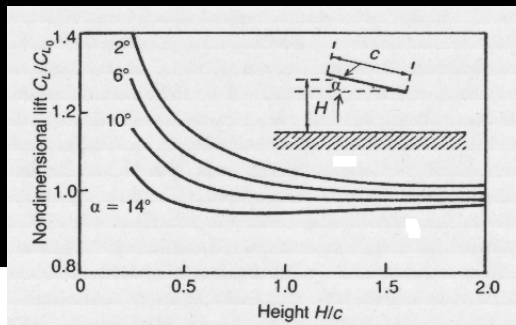
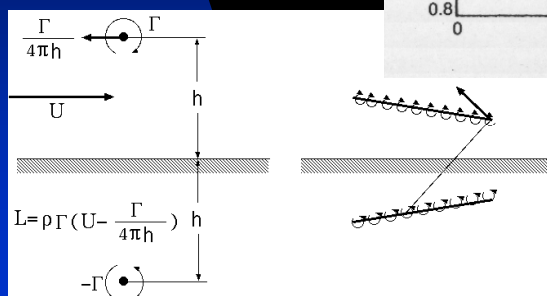
飛行の科学入門、ヘンクテネス著、学思社

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

28

地面効果(ラム圧)による揚力の増加



The Biokinetics of Flying and Swimming,
A. Azuma, Springer-Verlag

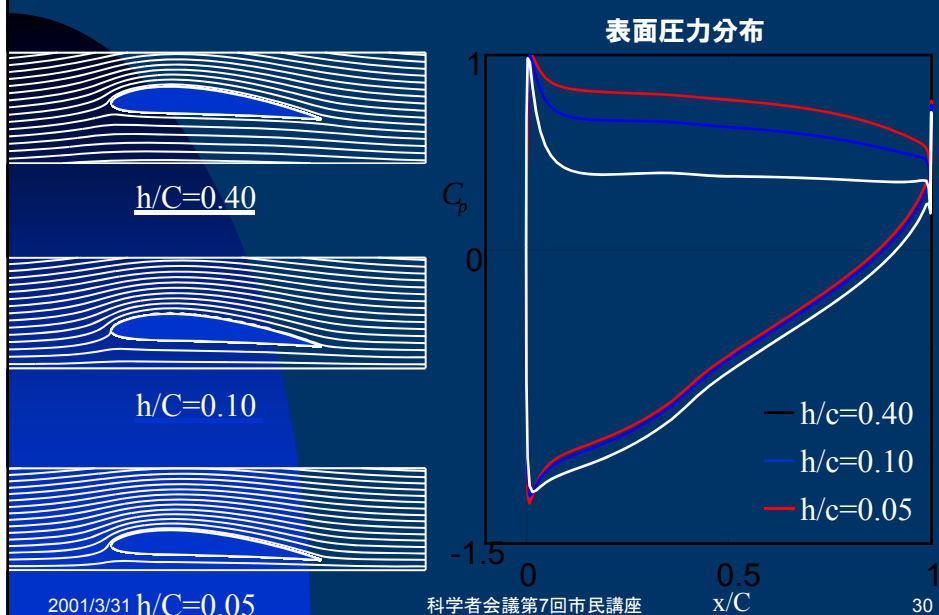
2001/3/31

M. Kikuchi

科学者会議第7回市民講座

29

高さによる変化 NACA4412 $\alpha=4^\circ$



2001/3/31 $h/C=0.05$

科学者会議第7回市民講座

x/C

30

飛行機の翼端渦

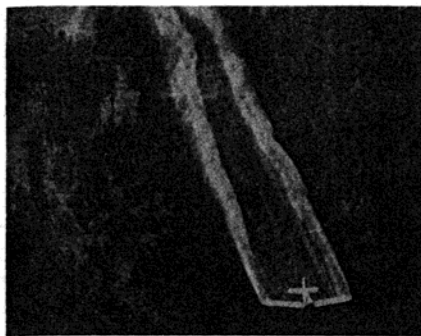


Fig 5. Photograph of airplane emitting dust shows the rollup of trailing vortex sheet. (Courtesy of U.S. Forest Service)

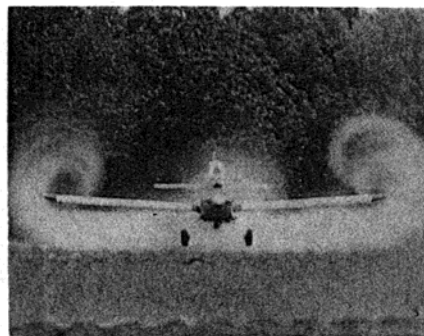


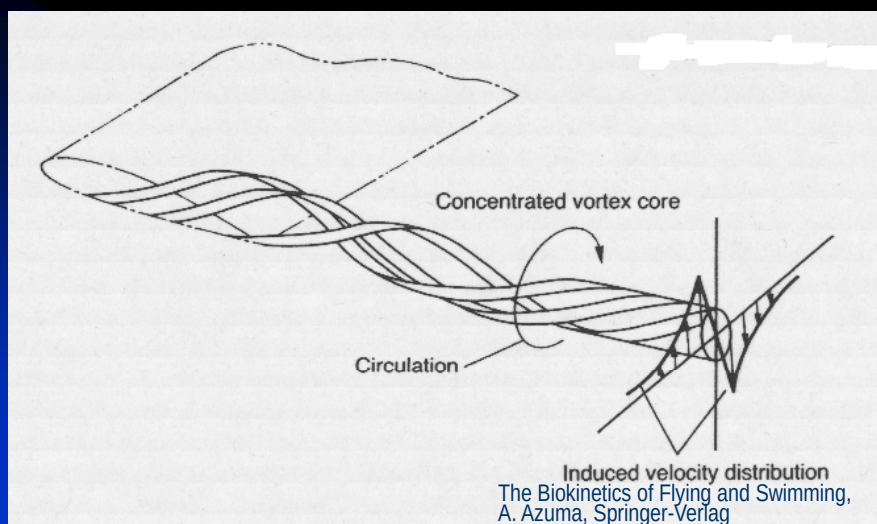
Fig 6. Front view of trailing vortices. (Courtesy of Lockheed Aircraft).

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

31

翼端渦により誘起される速度



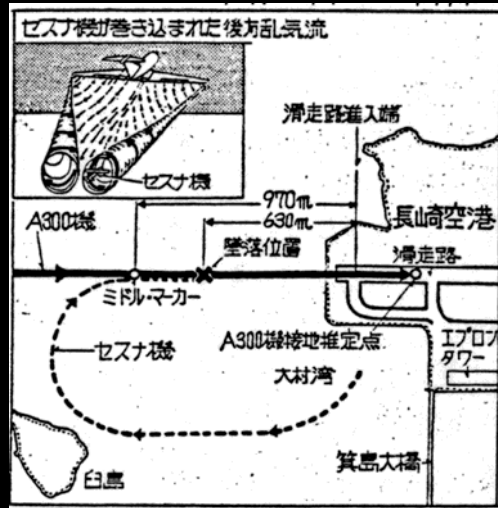
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

32

翼端渦に起因したセスナの墜落事故

- 航空事故調査委員会の報告(831201)
 - ◆ エアバスA300機が飛んだ直後にできた小型台風並みの後方乱流に巻き込まれ、操縦不能になった
- 渦の規模
 - ◆ 直径約32m
- 最大周速
 - ◆ 23m
- 朝日新聞(831202)



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

33

翼端渦と誘導抗力の関係

- 翼端渦により、翼の下流側には、下向きの速度が誘起される
- この下向きの速度により、抗力が発生する
 - ◆ 揚力が発生するときには必然的に伴う抗力

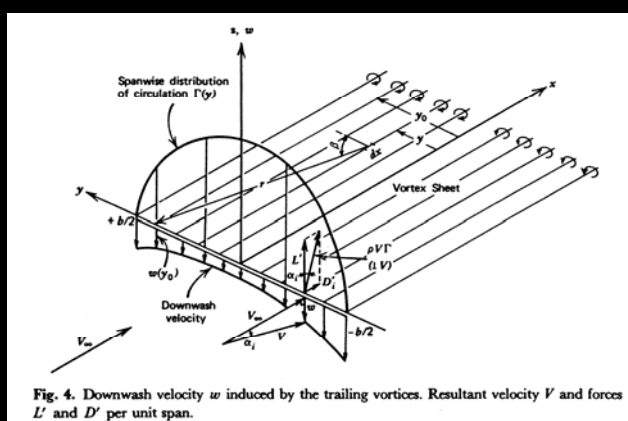


Fig. 4. Downwash velocity w induced by the trailing vortices. Resultant velocity V and forces L' and D' per unit span.

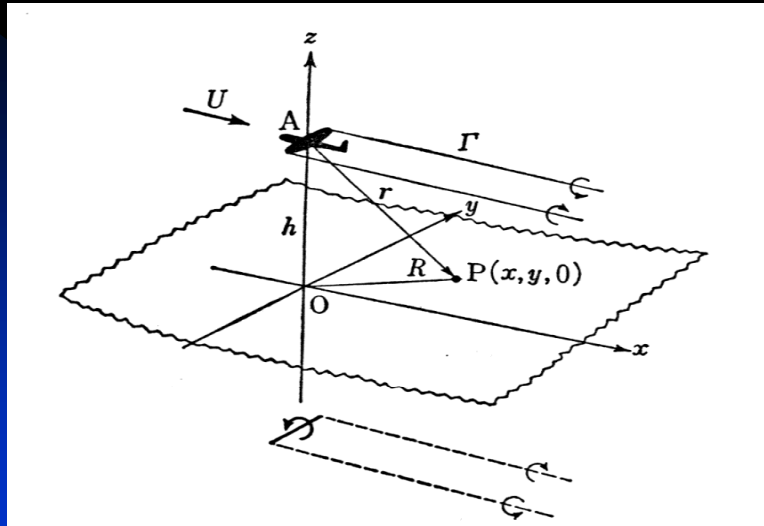
Foundation of Aerodynamics, A.M.Kuethe, 他、John Wiley & Sons

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

34

翼端渦の地面に対する鏡像



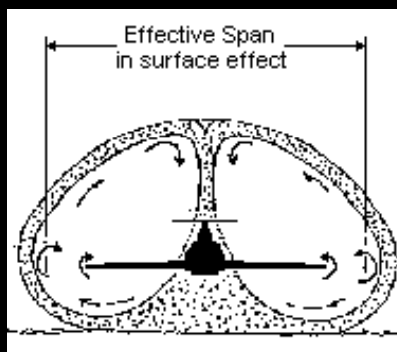
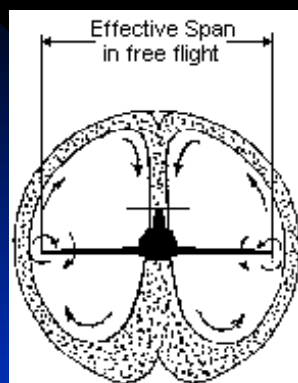
流体力学(前編)、今井功、装華房

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

35

地面効果による抵抗の低減



[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

■ 抗力

◆ (粘性抗力)と(誘導抗力)

■ 誘導抗力は翼端渦による流体の運動エネルギーに起因

■ 地面は翼幅を見掛け上、増加させ翼端渦を弱める。

↓

■ 誘導抗力の低減

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

36

誘導抗力とアスペクト比との関係

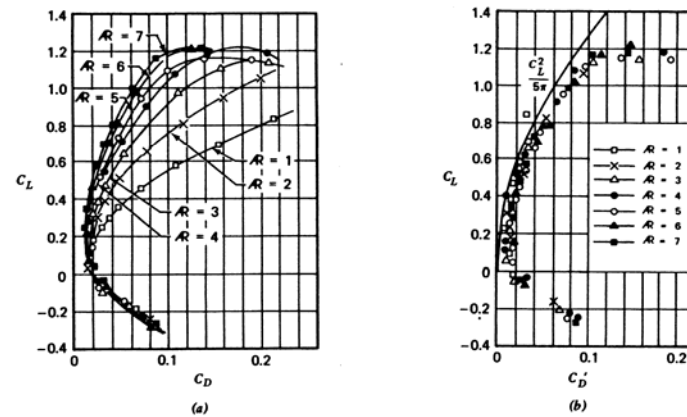


Fig. 12. Experimental tests of calculated C_D , for rectangular wings of $1 \leq R \leq 7$ (Prandtl, 1921).

- アスペクト比が大きいほど誘導抗力は小さくなる

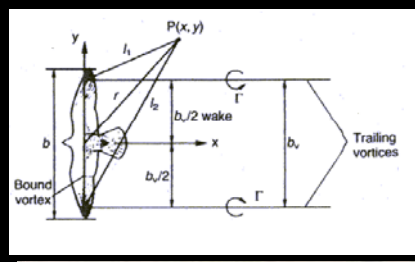
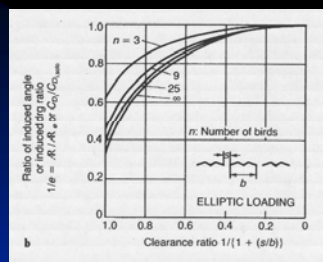
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

37

飛行する鳥の後ろにも翼端渦が発生

- 渡り鳥は、この翼端渦を利用して飛行する



2001/3/31



科学者会議第7回市民講座

38

WIGとは

- Wing-In-Ground effectの略
- ホーバークラフト
 - ◆ 船体の下にファンで空気を送り、そのときに発生するエアクッションにより浮上（静的）
- 水面滑空艇
 - ◆ 翼の空気力学的作用に作られたエアクッションより浮上（動的）



[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

39

WIGの歴史

- 地面効果は1920年代から知られていた
- ソ連が1960年代に開発
- カスピ海の怪物
 - ◆ 550t, 90m, 500km/h
 - ◆ 浮上用に8基のジェットエンジンを搭載
 - ◆ 巡航用には2基のジェットエンジン
- アメリカのスパイ衛星が捉えた
- Orlyonok (Little Eagle)
 - ◆ 1972年, 120t, 70m, 450km/h
 - ◆ 軍隊の輸送用, 1000km
 - ◆ 水陸両用



カスピ海の怪物: Caspian Sea Monster



スパイ衛星から撮影されたカスピ海の怪物



Orlyonok (Little Eagle)

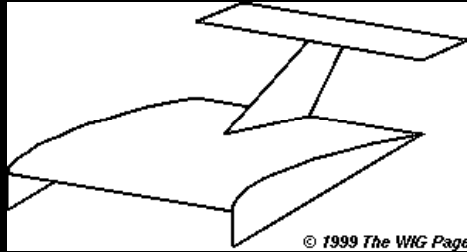
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

40

いろいろなWIG: Ram Wing

- 初期のWIGで多用されたタイプ
- 低アスペクト比の矩形翼
- たて安定性を高めるために大きな水平尾翼を有している
- 翼端には、翼下面のラム圧を保持するために端板を有している
- Kawasaki KAG-3, 181Sky-2(鳥取大学)等



Ram Wing



Kawasaki KAG-3

<http://www.se-technology.com/wig/>

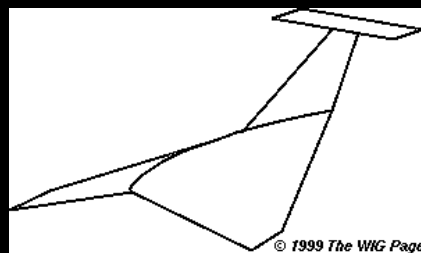
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

41

いろいろなWIG: Lippisch

- Ram Wing の特別な形で**逆デルタ翼**
- 矩形のRam Wingよりも安定性が高い
- 比較的小さなT-tailで縦安定性が得られる



Lippisch



RFB X-114

<http://www.se-technology.com/wig/>

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

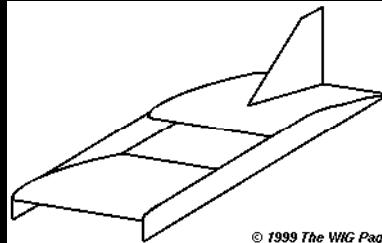
42



Airfish 3

いろいろなWIG: Tandem

- 二つのRam Wing が比較的狭い間隔で縦方向に並んだ形
- 初期のロシアの形 SM-1
 - ◆ 操縦性が悪いという理由でSM-2に移行
- 水平尾翼を持たない
- エアロトレインもこの形
ただし、翼間隔は長い



Tandem



Jorg TAF VIII-2

[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

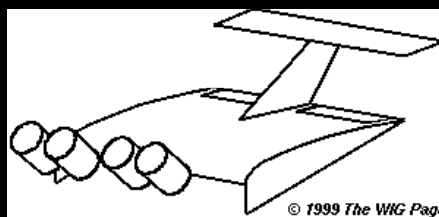
2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

43

いろいろなWIG: Ekranoplan or PAR-WIG

- Ekran=Screen, Plan=plae
- PAR-WIG (Power Augmented Ram Wing in Groun Effect)



PAR-WIG



Caspian Sea Monster

[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

44

いろいろなWIG:Aero-Train

- U字形のガイドウェイを走行
- 地面は平らなので、ぎりぎりまで地面に接近可能
- WIGの特長を最大限に引き出すことができる



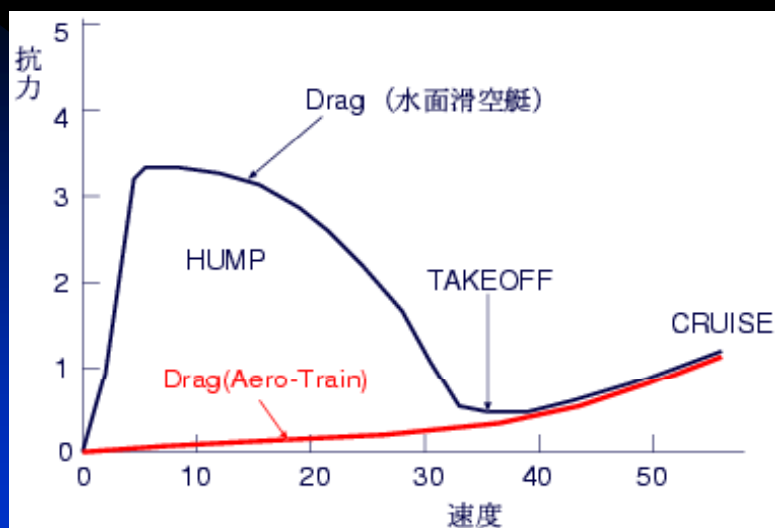
[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

45

エアロトレインと水面滑空艇の抗力



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

46

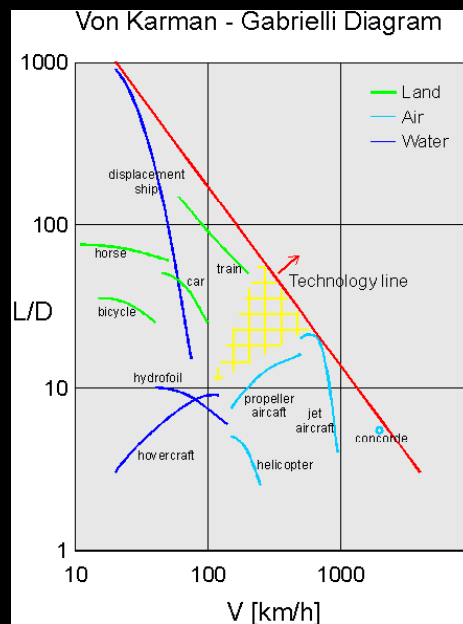
WIGの適所

■ Von Karman-Gabrielli Diagram

- ◆ 自転車からコンコルドまで、種々の乗り物の揚抗比を速さの関数として表現
- ◆ 全ての乗り物が、Technology lineの下にある
- ◆ 良く設計されたWIGは黄色のハッチングのところ位置する
- ◆ 大きな湖、河川、等の水面が滑らかなところが必要
- ◆ エアロトレインはその条件を満たす

[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

2001/3/31



科学者会議第7回市民講座

47

過去40年のWIG開発にもかかわらず成熟していない理由

- 旧ソ連で軍用に開発されたため機密性が高かった
 - ◆ ソ連崩壊後、商用に使われはじめてきた
- 離水時の抵抗が非常に大きい
 - ◆ 巡航時の数倍のエンジンパワーが必要
- WIGの性能を十分に発揮するには、大きなスケールが必要
 - ◆ 数百～数千トン
 - ◆ 十分に水面(地面)に接近してはじめて性能を発揮できる
 - ◆ 水面が滑らかであることが必要

[Http://www.se-technology.com/wig/](http://www.se-technology.com/wig/)

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

48

宮崎大学実験モデル:Mars

横方向の動きを制御する翼



2001/3/31



揚力を発生させる翼

科学者会議第7回市民講座

49

実験装置全体図



測定部
(風洞部)

測定部支持台車

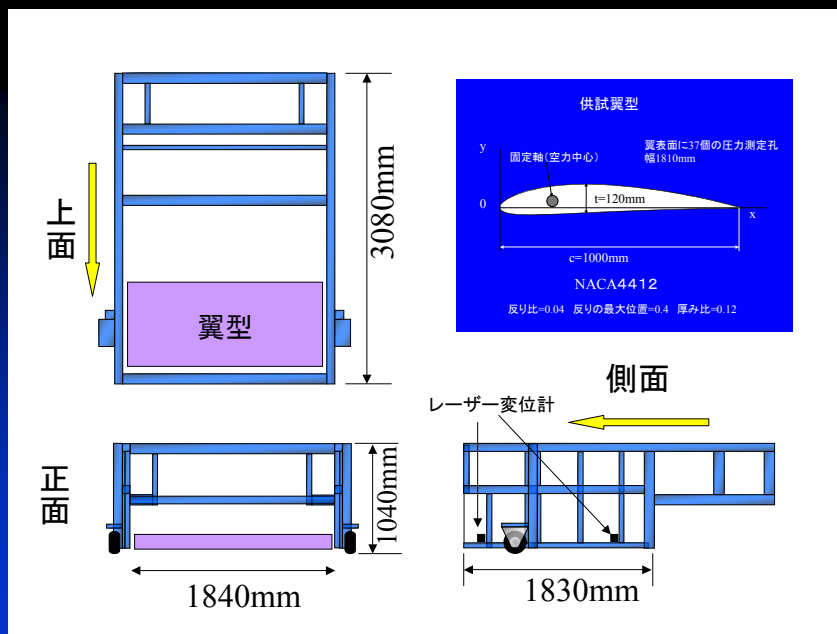


加速車
SUBARU LEGACY

2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

50



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

51

宮崎大学のモデル

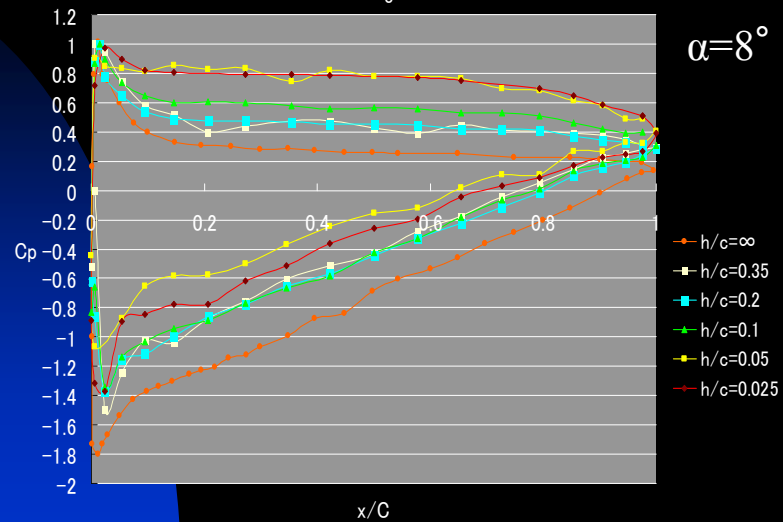


2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

52

圧力分布 (40km/h) $Re=7 \times 10^5$



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

53

東北大学第1ステップのモデル



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

54

ジェットエンジンによる走行実験



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

55

ジェットエンジンによる走行実験 (ビデオ)



2001/3/31

科学者会議第7回市民講座

東北大学提供

56

MRT サンデーラジオ大学

宮崎大学工学部

菊地正憲

2000年12月24日

1 エアロトレインの概略

- エアロトレインは、飛行機の Aeroplane と列車の Train の合成語で東北大学の小濱先生が作った言葉です。また、全く新しいコンセプトの乗物です。
- 列車に飛行機の翼を付けているような乗物を想像して下さい。リニアモーターカーは磁石の力で浮上し、また磁石の力で推進力を得ますが、エアロトレインは翼に働く揚力で地面から浮上、プロペラの推進力で、U字型のガイドウェイに沿って走行します。
- 翼に働く力で浮上する事では、飛行機と同じなのですが、地面からすれすれの高さで走行する事により、翼に働く地面効果が利用します。
- この地面効果を使うと、同じ重さの機体を支えるのに飛行機に比べて少ないパワーで済むので、これまでエネルギー密度が小さいという理由で利用しにくかった、太陽や風力などの自然エネルギーを利用できる可能性が広がってきます。
- この自然エネルギーは、
 - (1) 地球温暖化の原因となる二酸化炭素などのガスを排出しない。
 - (2) 再生可能で無尽蔵で枯渇の心配がない。
 - (3) しかも、ガイドウェイに沿って風車や太陽電池を設置できるので、自然エネルギーの供給源がすぐ近くにあるので、輸送のロスがありません。
 - (4) これをエアロトレインに使うと、燃料を積む必要がないので、軽いくでその分必要なパワーも小さくなる。といった特徴があります。
- つまり、エアロトレインは、時速500Kmという、未だ地上では走行していない高速輸送システムを自然エネルギーのみで実現することで、環境に負担を掛けない、環境にやさしい乗物となる可能性を秘めているのです。

2 地面効果

- 飛行機は、空気の抵抗を減らすためにできるだけ高い所を飛行します。それは、高空では空気の密度が低くなるので抵抗が小さくなるからです。
- しかし、飛行機が地面にすれすれの高さで飛んでも抵抗が小さくなります。つまり、同じ揚力を発生するのに必要な推進力が小さくて済みます。

- 地面近くを飛行する事で、翼に働く揚力に対して抗力が小さくなる現象を地面効果と呼んでいます。
- 紙飛行機を飛ばした時に、地面近くをスーッと加速して長く滑空するのを経験した事があるかと思いますが、あれは地面効果によるものです。
- 地面効果には二つのことが原因しています。
 - (1) 一番目は、翼に揚力が働くのは、翼の上面が負圧になり上方に吸い上げようとする力が働き、翼の下の方には高い圧力が働いて上方に押し上げようとする。ところが、地面に近い所では、翼と地面の間に発生する圧力がとても高くなるのです。これをラム圧と呼んでいます。バイクなどに乗って早い速度で走るととても高い風圧を感じますが、ラム圧はこれと同じ圧力で、地面効果の一番目の原因は、この圧力を翼と地面の間に抱え込むことで大きな揚力を発生させることことです。
 - (2) 二番目は、飛行機に乗った時に翼^{つばさ}の端から白い筋が出るのを見た事がある人がいるかと思いますが。気象条件にもよりますので、何時も観察できる訳ではありませんが、この白い筋が、翼端渦というものです。渦の中心では圧力が低いので空気中の水蒸気が見えているのです。
この翼端渦が原因した小型飛行機の墜落事故が、20年近く前に長崎空港で起きています。それは、エアバス A300 という大きな飛行機が着陸した直後に、小型機が着陸しようとして滑走路に向かって進入しようとして、まだ残っていたエアバスの翼端渦の中心に入って、小型機が横転し墜落したというものです。飛行機の速度が遅い空港の周辺では、大きな翼端渦が発生しています。
実はこの翼端渦が原因で抗力が増加します。この渦は左右の翼端から出ますが、この二つの翼端渦の内側では下向きの流れが、その外側では上向きの流れが生じます。下向きの速度が抵抗の原因になるのですが、翼が地面に近づくほどこの速度が、地面によって押えられ小さくなり、その結果として抗力が小さくなるのです。これが地面効果の二番目の原因です。
渡り鳥が、三角形の形にならんで飛行するのをよく見掛けますが、あれは、翼端渦の外側では逆に上向きの速度が発生しています。それを利用すると斜め後方を飛ぶ鳥は小さいですが上昇気流の中を飛ぶ事になるので少ないパワーで飛行できるのです。先頭の鳥が一番パワーを必要としますが、時々交代するというのを聞いた事があります。
グライダーの翼がとても長いですが、翼端渦による抵抗を減らすのが目的です。

3 エアロトレインの親戚：WIG

- 地面効果を利用する乗物を WIG と呼んでいます。WIG は Wing In Ground-effect の略です。地面効果は 1900 年代の始めから知られている現象です。
- ホーバークラフトも地面効果を利用します。上方から空気を吸い込み下から、空気を吐き出しますが、地面から僅かに浮上していて、地面との間に生ずる圧力を利用し

ています。これは、静的な地面効果で、動いていなくても浮上できます。

- これに対して、水面上を滑空する飛行機：「水面滑空艇」は高速で飛行する事で発生する地面効果を利用します。動的な地面効果です。エアロトレインもこれを利用します。
- 旧ソ連ではフルシチョフ首相の頃、1960年代に軍事用に水面滑空艇を開発していました。カスピ海の怪物とアメリカがスパイ衛星から撮影して、そのように呼んだといわれています。重さが550t、長さが90m、時速500Kmというまさに怪物のようなものです。水面から浮上するために大きなパワーが必要なため、8基ものジェットエンジンを積んでいます。浮上してしまえば、パワーは少なくて済むので、巡行用に2基のジェットエンジンを別に積んでいます。
- また、1972年には、重さ120t、長さ70m、時速450Kmの軍隊などの輸送用の水面滑空艇を開発しています。これは、輸送距離が1000kmもあります。
- 水面滑空艇と比較して、エアロトレインは地面効果を利用する上で大きな利点があります。それは、
 - － 離陸するまでは、飛行機と同じように浮上に必要速度になるまでに車輪を利用できるので、水面滑空艇のように水の抵抗を受ける事がない。したがって、浮上用のための余分なパワーを必要とせず、巡行用のパワーだけですむ。
 - － 水面滑空艇の場合は、水面には波が発生するので余り水面に近づく事ができないが、エアロトレインの場合は、地面は平であり地面に極限まで近づく事ができ、地面効果を十分に引き出す事ができる。

4 今後の計画と宮崎大学の実験

- エアロトレインの研究は東北大学の小濱先生が中心となり研究が進められています。これが、故小渕恵三首相が提唱したミレニアムプロジェクトに採択され、今年の秋から始まり、平成14年度まで続けられる。このプロジェクトは、流体力学、制御工学、材料学、燃料電池の開発のそれぞれの専門家から構成されています。
- ミレニアムプロジェクトに、先だって、昨年の7月から、日向市美々津町にあるJR鉄道総合研究所のリニアモーターカーの宮崎実験線を利用して、エアロトレインのモデルを使った浮上実験が開始されました。
- 謂わば第一ステップの実験で、胴体と翼が前後に二枚ついたモデルです。それを車で押して、安定して走行できるかどうかの実験が繰り返されました。これまでに、時速100Kmまでやられ、安定走行ができるということが確認がされています。
- 第二ステップでは、ミレニアムプロジェクトの研究期間中に、無人で時速150Kmで自然エネルギーのみで走行する実験を行います。

- 最終的には、時速500Km、三両編成で325人乗のエアロトレインを目指しています。
- 宮崎大学は、昨年の秋から、エアロトレイン用の翼の最適な形を開発することを目的に計画を建て、やっとその装置が完成し、今年の10月からその実験を始めました。現在、日向の実験線で実験をしている最中です。
- 空高く飛ぶ飛行機の翼は、翼下面の圧力で押し上げるというよりもむしろ上面の負圧で吸い上げる割合が高いのですが、地面効果翼の場合は、翼の下面と地面との間に発生するラム圧の利用が大事になります。そのための翼にはどのような形がいいのかが問題になる訳です。
- これまで翼型の開発は、風洞と呼ばれる、風を流す装置を使って研究が行われて来ました。ところが、地面効果を調べようとすると、風洞では正しく測定できません。というのは、風洞では地面に相当する風洞の壁と翼が静止している所を風が流れるといった状況しか作る事ができないからです。翼と地面との間隔が小さくなると、翼と地面との干渉がとて強くなるので、壁：地面が固定しているという事は致命的な欠点です。
このため、壁を動かすためにムービングベルトといった装置を使った研究もされていますが、それでも実際の走行状態を作る事は難しいのです。
- そこで、私達は、日向のリニアの実験線で翼を地面からすれすれの高さに設置して走行させることにより、実際に近い状況を作ります。そして、最適な翼の形を求めることを考えています。
- その意味では、日向の実験線はとても素晴らしい実験設備で、そこから得られる実験結果に期待しています。

エアロトレイン 宮崎大学実験モデル:Mars



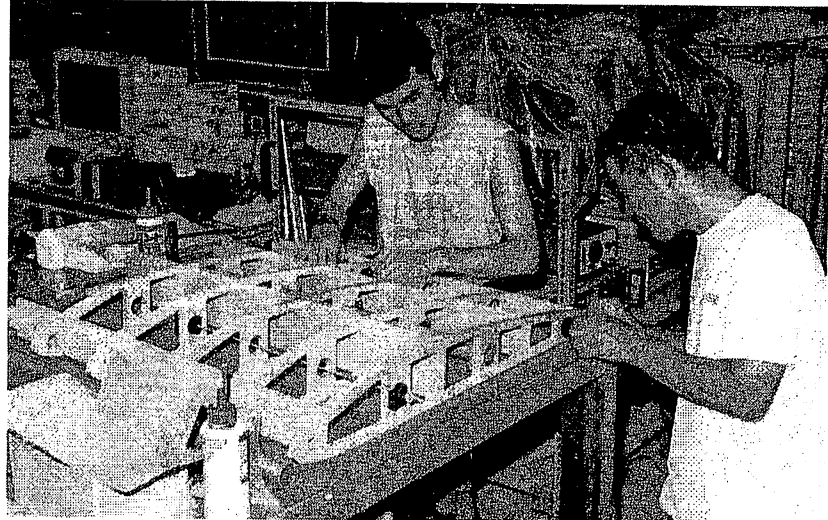
- エアロトレインは、U字型のガイドウェイに沿って、走行します。地面効果を利用して小さい抗力で大きな揚力を発生させる為に、地面からすれすれの高さで浮上して走行します。
- このため、地面効果を利用した翼の性能を向上させることが、重要な研究課題となります。
- 宮崎大学では、エアロトレインに最適な翼を研究するために、日向の実験線で最適翼型の開発を行います。
- 空高く飛ぶ翼の研究では、従来、最後のページに示すような風洞を用いて行われてきました。しかし、従来の風洞では、地面に相当する風洞の壁と翼の両方が静止しているため、地面効果を正しく計測できません。
- 今回の実験は、地面に近接して、実際に翼を走行させる世界初の「曳航風洞実験装置」として、ユニークな試みです。

実験装置:Mars(Miyazaki University Aerofoil Research System)は、本学学生が、「今日、科学技術は日進月歩であり最近では宇宙ステーションの建設も進んでいます。近い将来、人類はスペースプレーンに乗り火星へ行くでしょう。そして、地球上ではクリーンな交通システム:エアロトレインが運行しています。そんな未来の夢と希望も表しています。」という意味で命名しました。

翼の製作

- 昨年より、宮崎大学からの研究補助を得て、翼型開発のための装置を設計・製作してきました。以下に、実験装置の製作過程の概略を写真で示します。

- 翼の骨組みを作る
- 弦長:1m
- 翼厚:12cm



- 翼の表面に薄いガラスファイバを張り、滑らかに仕上げる
- 翼幅0.9mの翼を、3本のアルミのパイプで接合し、翼幅1.8mの翼が完成する。
- 翼幅の中央、翼表面に圧力測定用の直径1mmの孔が開いている。

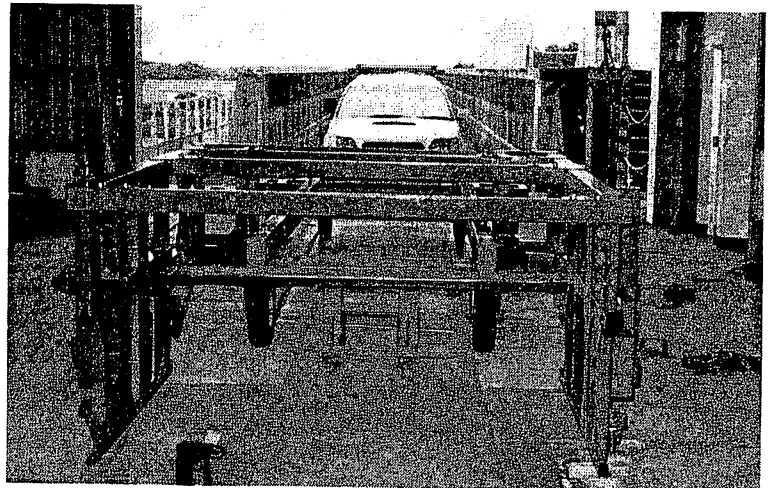


翼を台車に取り付ける

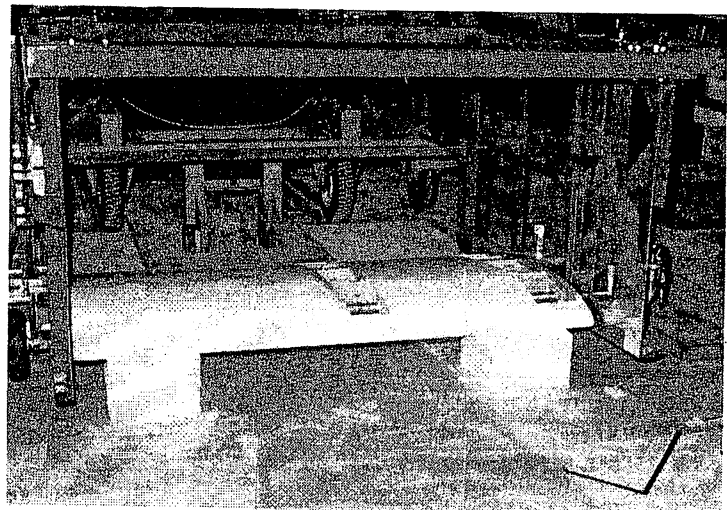
- 台車は、翼の地面からの高さ、迎え角を一定に支え、また圧力を測定する計器類を搭載します。翼が振動しないように、十分な強度が要求されます。
- 台車を組み立てているところ。



- 台車を前方から見たところ
- 乗用車で、時速60～70Kmで走行します。

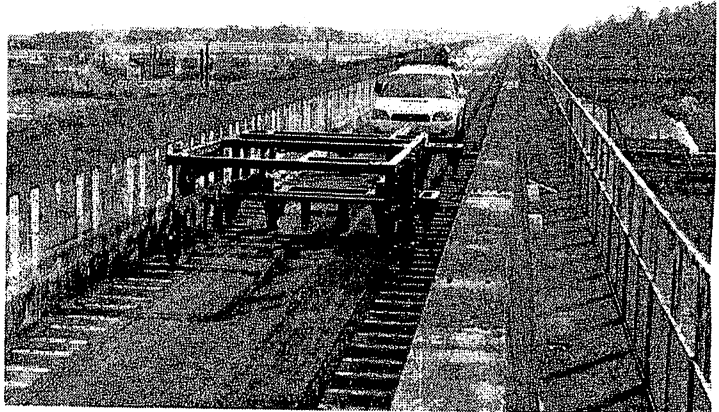


- 台車に、白い翼を取り付けているところ
- 翼には圧力を測るセンサーを埋め込む

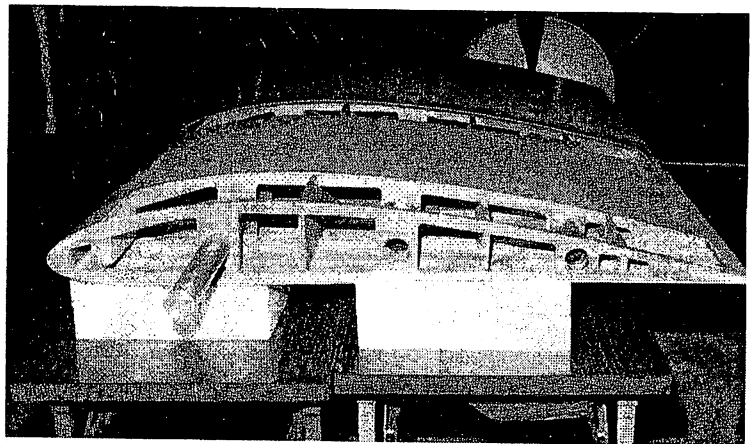


走行実験

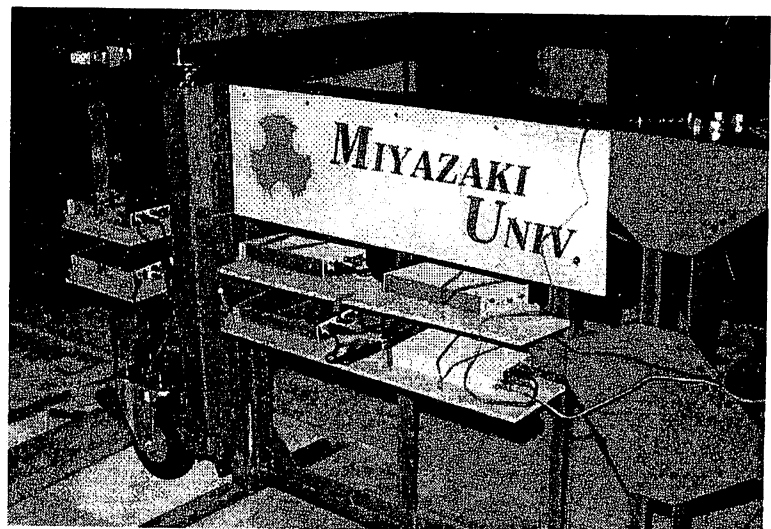
- 7.2Kmの実験線のうち1Kmを使って、走行実験を行います。
- 写真では、走行時の台車の安定性をテストをするために、翼はまだ取り付けしていない。



- 台車に取り付ける前の翼



- 台車には、圧力を測定するための計器類が取り付けられている。



従来の風洞

- 従来の風洞では、ファンで空気の流れを作り、テストセクションに模型をおいて、圧力、速度等を計測します。
- 風洞の壁と、モデルは静止しており、その間を空気が流れます。
- 写真は、イギリスの風洞で、VTOL機の実機の実験をしているところです。

