

時代と社会の要請に沿った研究を振り返って

経験に基づく研究の進め方

林 農

鳥取大学工学部応用数理工学科

Historical review on research contribution for fulfilling the current needs of the society;
- Evidence from own experience -

Tsutomu HAYASHI

Department of Applied Mathematics and Physics, Faculty of Engineering

Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan

E-mail: hayashi@damp.tottori-u.ac.jp

Abstract: I have studied various problems of fluid mechanics and practical fluid machines, especially wind turbines. In my life as a researcher and engineer of 47 years long, I devoted myself to obtain right concepts of phenomena, right technologies, and right procedures to reveal the truth. Many of my research subjects were determined from the problems confronted in my experience. I believe that the research based on the experience in experiments in laboratory and in industry is most important and valuable. I leave this note with a hope that it helps junior researchers to promote their future research.

Key Words: Practical fluid machines, Wind turbines, Right concepts, , Right technologies, Researcher and Engineer

1. はじめに

「今や、大学は研究開発を主体とする産業の孵卵器と見なされるようになり、ようやく工学部の建学の理念を実現する環境が整い始めたといってもよい」。これは、鳥取大学がお招きして平成9年度外部評価委員になっていただいた大橋秀雄委員（工学院大学学長 現理事長）からの提言である。

明治以来、我が国の研究のみならず全ての企業活動は、先進諸国に追随し、追いつくことに躍りになってきた時代であった。したがって、大学における研究もまた、外国の模倣からはじめるのが主流を占め、日本における企業の製品開発と大学における研究活動が結びつくことが希れであったことは止むを得ないことである。しかしながら、今日、大学における研究活動と企業における製品開発とが同じベクトルを持つに至り、真の工学研究者・技術者がその能力を遺憾なく発揮し活躍できる時代が到来したのである。

私は、1961年から1966年まで、ある大手電機会社において、研究開発部の製造部門と設計部門

でプロとしての実務経験を持つことが出来た。このことはその後の研究者生活を送るために極めて貴重な経験であって、実験装置を考えたり作ったりするのに大いに役立てることができた。したがって私の研究は実験装置に大いにこだわった内容が多い。

大型外部資金の獲得競争時代に突入したと言われる一方で、常に配分される研究費は極端に少額になってきた。これからは、大型研究費を導入した研究グループが実用化研究に取り組める一方で、僅かな研究費を創意工夫で乗り切らなければならない研究者達の2極分化する時代に入ったとみられる。この時代にあって、将来に向かって研究を進めていく若手研究者が今、何を考えなければならないのか。自分で考え、自分でやることの大切さと面白さを知って頂くために、学術論文に書かなかった装置のこと、書けなかった研究成果などを中心に、一研究者の僅かばかりの経験を、折角与えられた機会であるので、この研究報告に記しておくことにする。研究の詳細な内容については巻末に掲載した参考文献を読んで頂ければ幸

いである。これらの研究には多くの仲間、先輩、後輩、下支えしてくれた人達の協力があって成り立っていることに深く感謝している。

また最近では、大学に求められる条件の一つとして産学連携や社会貢献が加わってきたので、それらも書いておくので、若い人達にとって将来への方針を模索するための助けにして頂ければ幸いです。

2. 経験に基づく研究の進め方

明治から、少なくとも戦後から 1960 年代頃までの、生産第一、経済第一の我が国の工業界では、技術提携との名の下に研究開発と言えども先進諸国からの技術の導入に頼らざるを得ない現状に飽きたらず、大学での研究を夢見て転身入学した者としての私の考え方・思考形態は、他とは幾分の違いがあり、研究の進め方にはその経験・知識が多少なりとも反映されていると思っている。例えば、研究課題の設定や研究の進め方には、自分の経験や思考過程から生まれてくる課題を見つけだすよう心がけている。したがって、現在やっている研究から派生してくる問題点から研究課題を拾い上げていくことが多い。また、実験装置や器具にはかなり心を砕いているので、実験装置の問題点、疑問点から研究課題を掘り起こしたものも多い。平成 9 年に日本機械学会・関西合宿セミナーの依頼された特別講演の中で、「経験に基づく実験装置の開発と研究の進め方」と題して私なりの経験を話した。その中で、研究は夢への挑戦であり、流体力学の実験には、新しい現象の発見、精度の良いデータの蓄積、の 2 通りがあること、研究課題の設定・提起に当たっては、学問的興味、社会の要請、研究から派生した課題を取り上げる、などがあること、は他人の論文、模倣から脱するのが難しく、は企業との共同研究が期待され、は自分自身で掘り起こした課題であるので、ユニークで、オリジナルな課題になり易く、実験装置にこだわり、発生する問題を注意深く洞察することが肝要であると述べた。その時、取り上げた実例を中心にして、その後の研究についても含めて、とくに論文に書かれていない事柄に注目してこの研究報告で披露する。

3. 流体力学の研究

私は、大学院修士課程及び博士課程から始まった研究生活の中で、偶然の成り行きが重なって流

体力学の自由分子流から連続流までの広い範囲にわたる実験研究に携わった珍しい経験を持つことにいささか誇りを持っている。分子の運動で表せば、平均自由行程と分子直径の比であるクヌッセン数 Kn で区分する次の幅広い範囲である

$10 < Kn$	自由分子流
$0.1 < Kn < 10$	遷移流
$0.01 < Kn < 0.1$	すべり流
$Kn < 0.01$	連続流

とくに、連続流領域における研究 ($Kn < 0.01$) と自由分子流領域における研究 ($10 < Kn$) における実験的研究に留意して研究した。

大学院入学以来進めてきた研究の相互関係を図 1 に示す。私の研究は時間経過に従って前の研究から派生した問題を次の研究の課題にするように努めてきたことを示している。

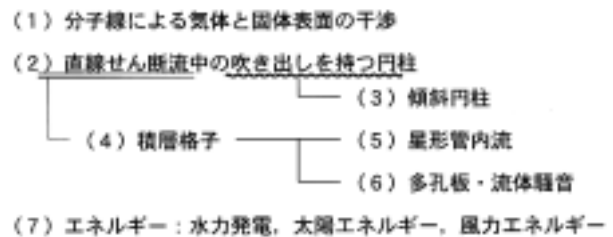


図 1 今までに進めた研究の相互関係

(1)の分子線を使った気体と固体表面の干渉は $10 < Kn$ の自由分子流に属する研究である。後述するように、この研究は極めて難しい実験装置の製作を含んでいた。日本の 1970 年代初め頃は、まだ真空技術の発達が進んでいなかったこともあり、かなりの創意工夫が求められた。

(2)の直線せん断流中の吹き出しを持つ円柱は、 $Kn < 0.01$ の連続流領域の研究であり、多くの吹き出し円柱の研究成果を挙げていた職場への移動に伴って、一様流を直線せん断流に変えた場合の影響について詳細に調べた研究である。流れに勾配を持たせた直線せん断流中で流れに垂直に円柱を置いた場合から派生した研究として、一様流中の流れに円柱を傾けた場合の違いについて言及したが、(3)の傾斜円柱である。

速度勾配の大きな直線せん断流を風洞の流路幅一杯に作るために用いた積層格子からは、用いたストローの配列の違いによる俵積みと碁盤目積の抵抗の違い、それぞれの積み方が形成する隙間

の3辺星形管と4辺星形管の流体抵抗, この星形管内流の研究へと繋がった. この積層格子の長さを短くした極限が多孔板であり, 多孔板の抵抗係数の変化と流体騒音の発生との関係を見出したのが流体騒音の研究へと繋がったのである. その後, 機械工学科から応用数理工学科への移動と時代の要請に伴って, 研究は風力発電・風車の実用化研究へと移した直後に, 科学研究費(地域連携推進)「砂漠化防止・沙漠緑化に活躍する新技術風車の研究開発」(6,450万円)に採択される幸運が舞い込んで, 沙漠環境風洞を購入でき, その後の風車の研究開発に大いに役立てることができた. また, その延長上に自然エネルギー利用による砂漠化防止・沙漠緑化支援技術の研究へと推移した. その研究成果が21世紀COEプログラム「乾燥地科学プログラム」への参加に繋がったのである. 以上の研究推移に従って, 個々の研究について, もう少し詳細に述べる.

4. 分子線による希薄気体と固体の干渉 [1]-[3]

自由分子流領域 ($10 < Kn$) での研究は, 主として宇宙空間を飛行する物体や人工衛星の表面で衝

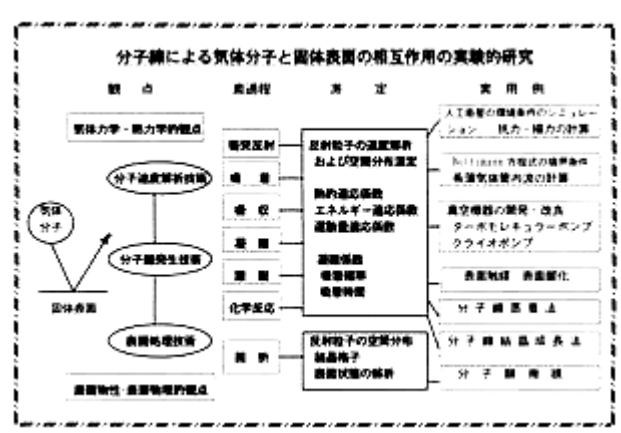


図2 気体分子と固体表面の相互作用の応用範囲

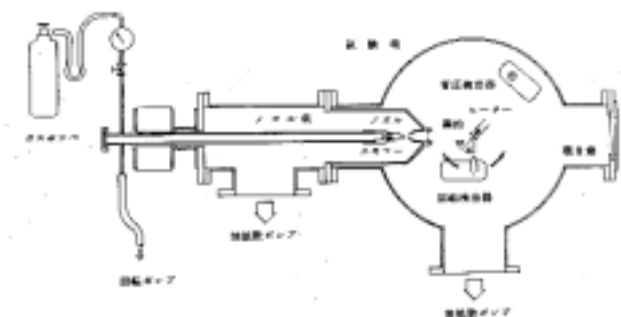


図3 分子線実験装置

突する気体の挙動を知る目的で実験をした『分子線による気体と固体表面との干渉に関する研究』である. この研究は我が国においては先駆的研究であったため, 日本機械学会では発表する機会がなく応用物理学会やアメリカ航空宇宙学会(AIAA)の論文として報告した. 1980年代になって, 日本機械学会でも希薄気体力学の分野で注目を集めて, 分子動力学を駆使した理論計算結果などが報告されるようになった.

この気体と固体の干渉現象は広範囲な応用分野に適用されるに違いないと 1977年の学位取得に際して書いたのが図2である. 分子線による気体分子と固体表面の相互作用の実験的研究がどのような分野に応用されるかを, その研究の観点, 素過程, 測定される項目, 実用例に区分している.



図4 Ni 対する Ar の干渉の温度依存

この実験のために製作したのが図3の分子線実験装置である. 現在ではその応用分野はさらに広がり. この研究成果は今, フロッピーデスクなどの微小隙間に於ける流体摩擦の計算などに適用されて大いに役立っている. この気体と固体の素過程の解明の実験に際して必要とした真空技術は特殊な技術であったので, 全ての面で創意工夫を必要とした. 後進の人達に参考になると思われるので, ここで少し詳細に書きしるすことにする.

微少な信号を取り出すことと精度よい実験結果を得るために, 実験装置の誤差見積りの理論解析からはじめて, 実験装置の設計・製作・改良に役立てた. 実験装置の設計・製作で留意した点を箇条書きにすれば次の通りである.

- ・分子線, 標的, 検出器の芯合わせ 誤差の計算, 同芯設計
- ・分子線の数密度を高くし容器内の真空度を高める シリコン拡散ポンプオイル, ステンレス鋼容器, ベーキング, クライオスタットなどの採用
- ・大気中の外界から操作可能 覗き窓, 回転部のOリングによるシール

- ・反射粒子検出の高精度化 高感度検出器，差動アンプの設計・製作，三次元回転支持台の開発
 - ・高感度パラメーターの設定 標的種類の選択，温度依存性の調査，流束（flux）分布の測定
- この研究の最大の問題は，流体力学の範疇と言うよりは，物性物理学，材料科学などの分野で研究されるべき問題を多く含み，少なくとも物性科学に関する多くの知識と経験を必要とすることである。

これらの研究成果の内，特筆すべき事柄は，図4に例を示すように，ニッケル:Niと白金:Ptに対するアルゴン:Arと窒素ガス:N₂の干渉をはじめて明らかにしたことである。

5. 連続流領域における研究 ($Kn < 0.01$)

5.1 せん断流中の円柱周りの流れ [4]-[8]

1977年から1995年まで，主として $Kn < 0.01$ の連続流の研究を手がけ，西日本乱流研究会の一員として乱流について勉強する機会を得たことがその後の研究に大いに役立った。

最初の研究は「直線せん断流中に置かれた接線方向吹出しを持つ円柱の空気力学特性」である。この研究ではせん断流の効果が小さいことから，大きな勾配を持つ直線せん断流の制作を必要とした。これには，不等間隔丸棒格子では大きな速度勾配が得られず不向きであったので，ジュースなどを吸うためのストローを積層する積層格子の制作を必要とした。市販のストローの元である長さが1m程のものを製造元を訪ねて手に入れたもので，一本1円程度であったことから何本も切り揃えて強い勾配のせん断流を作るのに費用を心配する必要もなかった。この研究の成果からは次の多くの問題点が発掘でき，後の研究課題へと繋がっていくことになる。

- ・円柱の空力特性 端の影響が重要な問題であることが判明
- ・全幅に亘って一様な直線せん断流の作製が困難 積層したストローのくずれが原因であり，配列の違いによって流動抵抗に差があることが判明した。これは，後に述べる積層格子の研究へと発展することになった。

5.2 風洞の設計・製作

自ら設計し，大学の工場の助けを借りて製作した風洞は3台にもものぼる。自製の風洞の一つは乾燥地研究センターの神近牧男教授と共同で「飛砂

風洞」を製作して，冬の砂丘を丸い石が北風に逆らって風上の方向に転がる「砂丘転石」と，砂に突き立てた棒が何故か風上に向かって倒れる現象の解明に役立てて，これらの原因は石や棒の造る馬蹄形渦が原因であることを明らかにした。この研究成果は，一夜にして大きな瓶がひっくり返った内蒙古での現象を解明して，中国から留学していた周助教授を大いに喜ばせた。

極めて基礎的な二次元円柱と傾斜円柱の実験に役立てる風洞の製作に際しては，円柱端の条件が二次元円柱の空力特性を大きく左右することが考えられたので，次の諸条件を満たす低速風洞を設計・製作した。

- ・風速 5 ~ 15 m/s の流速可変とする。
- ・テストセクションは外側大気からアクセス可能な構造とする。
- ・テストセクションは同形2分割，連結により全長4mとする。
- ・側壁からの外気の漏洩がない完全な密閉構造とする。
- ・テストセクション内部は一定圧力に調整できるよう上面壁は可動構造で微調整可能とする。

以上のように，円柱端からの空気の漏れを極力防ぐ構造の風洞を製作して，流れに垂直な円柱による空力特性の確認と，密閉流路に設置された傾斜円柱まわりの流れについて研究した。

これらの風洞の設計・製作の経験が，後に世界にも稀な脈動風や突風，ステップ風を発生できる「沙漠環境風洞」の開発に役立ったのは言うまでもない。

5.3 傾斜円柱まわりの流れ [9]-[14]

流れに垂直に置かれた円柱まわりの流れは円柱端の状態によって左右されることから，円柱空力の一般特性，とくに二次元特性には注意が必要であることが判明した。そこで，円柱端の条件に留意しながら，軸方向に三次元的な流れを含む傾斜円柱まわりの流れについて噴流内に設置した傾斜円柱および側壁に囲まれた流路内での傾斜円柱に対する実験と直接数値シミュレーションを駆使して研究した。この研究からは，

- ・円柱前面に衝突する流れは Independence Principle に従う
- ・円柱背面では円柱軸に沿う強い二次流れが発生
- ・傾斜上流側円柱背面に高圧力領域が存在する
- ・円柱背面の圧力は傾斜上流側で低く傾斜下流側で高い
- ・円柱背面の時間平均圧力はうねりを生じている

- ・無限長さの円柱まわりの流れは軸方向の周期変動がある
- ・円柱端に生じる馬蹄形渦は傾斜上流側のみ発生する

など多くの新しい知見が得られたが、教授昇任に伴って学科を移動したことも重なって、それ以上実験を続けられなく惜しいことをしている。円柱背面の時間平均圧力のうねりの状態を図5に示して証拠とする。

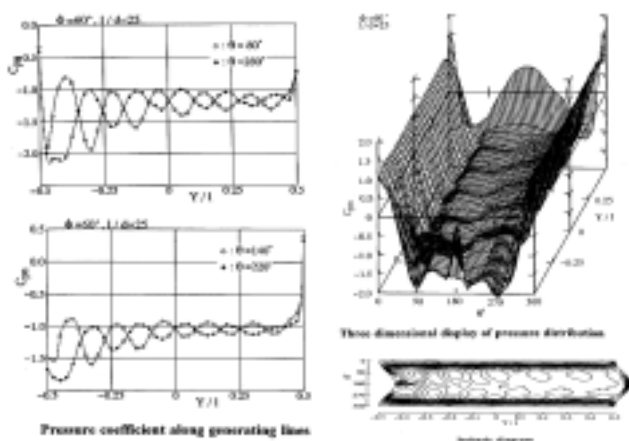


図5 傾斜円柱背面の波打つ圧力分布

5.4 積層格子の流体抵抗 [15][16]

積層格子の型くずれの予測から、図6に示す俵積み格子と碁盤目積み格子の抵抗の実測を行った。この実験からは、格子の流体抵抗は開口比の小さい俵積みの方が抵抗が大きいと言う訳ではなく、配列の違い、長さ、レイノルズ数によって複雑に変化することが判明した。さらに、薄肉ステンレスパイプを用いた実験から、円管間の隙間を作る3辺星形管および4辺星形管内の層流から乱流への遷移が重要な役割を果たすことが判明した。こ

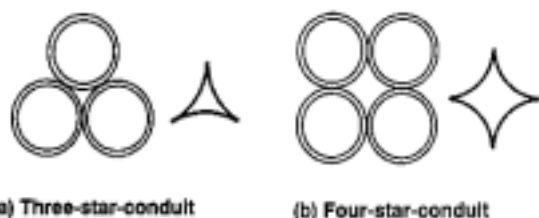
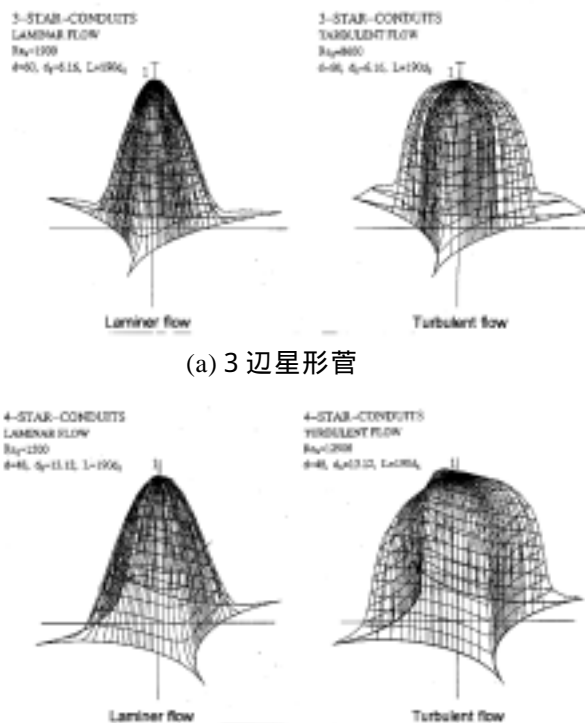


図6 俵積み格子(3辺星型管)と碁盤目積み格子(4辺星型管)

の研究成果が基になり、『星形管内流の層流、乱流、遷移流』の研究へと発展している。また、積層格子の合成抵抗の考察から、丸穴だけの『円管格子の流体抵抗』の実験、それから生じた『円管格子の流体騒音』の研究へと繋がっている。

5.5 星形管内流の層流、乱流、遷移流 [17]

3辺星形管および4辺星形管内流(図6)の層流および乱流に関しては全く知られていない。そこで、塩化ビニールパイプを束ねて大きな水力直径を持つ単体の星形管をテストセクションとするダクト実験装置を制作して、層流および乱流の時間平均速度分布と乱れ強さ分布を計測した。但し、星形管の節付近の空間は無限小となる特異形状を成すため、断面内での正確な速度分布は未だ得られていない。また、流速測定は星形管出口直後で実施したので、図7に示す速度分布が真の分布を得ているか疑問が残る欠点がある。遷移流においては、乱流スラッグの発達状況について興味深い現象が観察された。層流、乱流の速度分布を正確な測定と遷移域での乱流スラッグの研究がこれからの課題である。



(a) 3辺星形管

(b) 4辺星形管

図7 星形管出口直後の速度分布

6. 風力エネルギー利用技術の研究

6.1 先端技術風車の研究開発 [18]-[20]

1995年、教授に昇任したのを契機に流体工学の基礎研究から実用化研究に転じた。その年は、文部省に通産省の大型研究資金が導入された記念すべき年で、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)から提案公募型・最先端分野研究開発の公募が初めて行われた。それに対して「耐風雪型風車、耐砂塵型風車の開発研究」で公募に応じたが、中国地方で採択されたのは皆無で、数ヵ月後にあった追加採択が岡山大学の稲葉英雄教授ただ一人であった。それから3年経過して厳しい評価の後、地方大学にも採用が増えてきた。これが現在の大型外部資金獲得競争の前兆であったことを見抜いていた大学は、これに備えて逸早く地域共同センターを中心とする産学連携機能を充実させ、他大学との差を大きく開くことになった。大学法人化後の最近では、益々外部資金獲得の実績の差が大きくなってきたようである。

実用化研究として、流体工学の応用分野に取り組みに丁度よいテーマは風車の研究開発であると考へて地元の流体機械のメーカー企業と共同研究を始めた。同時に、賀露おやじの会などのボランティア活動団体等とも交流を始め研究会を持った。しかし、風車の研究には実験用大型風洞が是非とも必要であることから、これらの産学・地域社会連携の経験をもとに公募事業に応募して認められたのが、平成12,13,14年度・文部科学省・科学研究費(地域連携推進)「砂漠化防止・沙漠緑化に活躍する新技術風車の研究開発」(6,450万円)である。面白いことに、この科研費の採択には、産学連携の証拠提示が求められた。これが地域連携・産学連携が強化されていったことと、大型外部資金導入の競争時代に突入していったこととの先駆けであったことは、後になって分かってきたことである。外部資金導入競争は東京を中心とする首都圏の大学、東京大学などの旧帝大系の大学が圧倒的に有利に展開することになって来たが、この頃から他に先駆けて生き残り策を考えておくべきであったと思える。

この地域連携推進の科学研究費によって、購入したのが「沙漠環境風洞」であり、一様流だけでなく、図8に示すように、脈動流、突風、瞬間流を作り出すことができる大型風洞である。この風洞の入手によって初めて、世界初となる風車の過渡応答性能の実験が可能となった。

この沙漠環境風洞を使って最初に研究したの

が、変動激しい沙漠環境で作動させる多段式サボニウス風車である。図9に示す3段式サボニウス風車は軸方向に3段に分割したローターを位相角 120° でずらすことによって、右図の赤線で示すように静的にも動的にも滑らかなトルクが得られる特性を持つ風車になることが証明された。

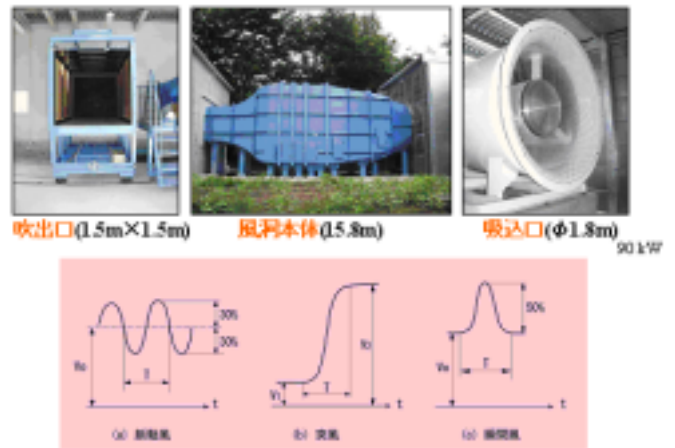


図8 沙漠環境風洞

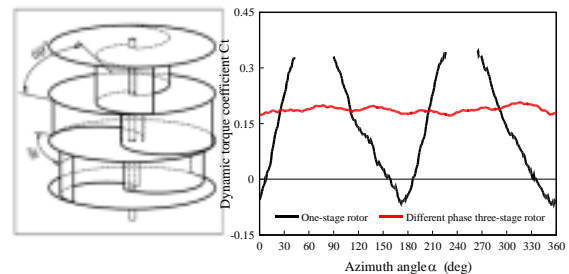


図9 3段式サボニウス風車のトルク特性

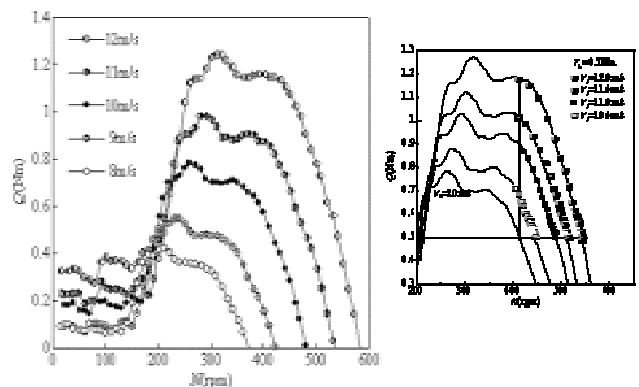


図10 鉛直軸風車の過渡応答特性
(負荷トルク一定条件)

6.2 風車の過渡応答特性 [21]

風車に吹付ける風が突然増速するとき、風車の回転数、発生トルクはどのように変化するかについては興味ある現象であるが、まだ誰も明らかにしていない。そこで、まず風車に吹付ける風が10m/sの基準速度から急に0.5, 1.0, 1.5, 2.0m/sだけ増速するステップ流を作り出し、直線翼鉛直軸風車の過渡応答特性を実験的に求めた結果を図10に示す。左図は風車に吹付ける一様流の風速8, 9, 10, 11, 12 m/sに対する静的トルク特性である。右図に示す過渡応答トルク特性は、基準風速10 m/sの最高効率点から始めて、一定負荷トルク($T_L=0.68Nm$)の条件で求めた実効トルクの過渡応答曲線である。

風がステップ的に急上昇するとき、回転数一定のまま実効トルクは瞬間的に増加し、上昇した風速の静的特性曲線に届く、次いで回転数が滑らかに増加しながら、実効トルクは静的トルク曲線に沿って推移し、最終的に設定した一定の負荷トルクに届くまで回転数を上昇する過程をたどることを明らかにした。

7. 風力発電の事業化研究 [22]-[25]

日本の風力発電事業が本格化し始めたのは、1997年(平成9年)12月の地球温暖化防止京都会議と時がほぼ一致する。その頃、関西を中心として、時には東京で、講演会に招かれて「風力発電」の話をする機会が増え続けた。結局、定年を前にした今、11月9日に日本機械学会徳島講演会での特別講演「石油ピークと風力発電」を含めて80回を超えそうである。京都会議の頃の鳥取における講演で、2010年までに30基から50基の風車が鳥取県内に建つであろうとの私の予想に対して信じる人は殆どいなかったが、2007年の現在41基の風力発電が稼働していることは、専門家の先の見通しの重要さを示す証左と私は思っている。

その頃、幾つかの風力発電事業企業から、鳥取県内での事業化の共同研究の依頼があった。その一つが北条砂丘での風況精査とそれに続くウインドファームの事業化であり、初めての産官学連携の試みであった。これは順調に進めば、北条砂丘周辺に、第3セクターとしての風力発電維持管理とコンサルタントの企業の発足、自然エネルギー研究所や学習館の設立、次世代エネルギーパーク構想へと続き、やがて一大産業集積地にする計画であったが、地方特有のいろいろのことがあって潰れてしまったのは残念でならない。

北条砂丘での風力開発の歴史の概要を記せば、

- (1) 30mタワーによる風況精査
北条町と大栄町の2カ所・砂防林の陸側
平成10年6月～ 研究費：800万円
鳥取大学の結論：砂防林の影響大 再調査
トーマスの結論：北海道で事業拡大 保留
- (2) 70mタワーによる風況精査
北条町・砂防林の陸側
平成12年12月～ 研究費：2,000万円
鳥取大学の結論：
大規模風力発電可能大 研究成果
(株)エナテックスの結論：
ビジネス可能 事業化する
(株)東芝プラントの結論：
不況により事業縮小 保留
- (3) 北条町地域エネルギー研究会発足
平成14年5月～
- (4) 北条町風力発電事業化推進委員会発足
平成15年4月～
- (5) 北条砂丘風力発電所(1,500kW×9基)
平成17年11月竣工

この風力発電所は、現在までのところ順調に稼働しており、特筆すべきは落雷による故障がないことである。これは全国的にも珍しく、その原因を究明することが日本型風車の研究開発へ繋がると期待されている。

写真1の北条砂丘 風力発電所 の発電情報は北条町のホームページ (<http://www.e-hokuei.net/mkpage/hyouzieditor.php?sid=1171&listmode=>) に詳しく説明されている。また、風力発電建設当時、町民から寄せられた疑問・質問に対して丁寧に答えている旧北条町のホームページ (http://www.e-hokuei.net/hokuei_huuryoku/main.htm) を見ると、風力発電に対する知識不足が混



写真1 北条砂丘風力発電所と風況精査塔

乱を引き起こすこと、まだ一般に風力発電の知識がいきわたっていないことなどがよく分かって面白い。中国経済産業局が産学連携の成功例として「北条砂丘における大規模風力発電事業の可能性調査」を取り上げているのは www.chugoku.meti.go.jp/topics/sangakukan/jirei/ である。

事業化に関係した学術研究としては、移動式風況精査システムの開発を試行して可能性のあることを明らかにした。これは、企業との共同研究として「ドップラーソーダによる最適ポイントの選定方法」の産学連携研究の成果として評価された。



写真2 移動式風況精査システム

8. 21世紀COE「乾燥地科学プログラム」

平成14年度の文部科学省・21世紀COE (Center of Excellent)プログラムは世界の研究拠点形成を目指して、全国の大学が生き残りをかけて競い合い始めた最初の公募型大型研究助成であり、地方大学でも Only One の研究テーマさえ持てば、大規模大学と競合し得ることを証明した事業である。第1回の平成14年度は5分野の公募があり、生命科学28件、化学・材料科学21件、情報・電気・電子20件、人文科学20件、学際・複合・新領域24件、応募総数合計113件が採択された。学際・複合・新領域の分野で採択された鳥取大学の「乾燥地科学プログラム」は、広島大学の「テラビット情報ナノエレクトロニクス」(分野：情報・電気・電子分野、専攻：ナノデバイス・システム研究センター)および「21世紀型高等教育システム構築と質的保証」(分野：人文科学、専攻：高等教育研究開発センター)、愛媛大学の「沿岸環境科学研究拠点」(分野：学際・複合・新領域、専攻：沿岸環境科学研究センター)とともに、中国・四国で採択された4件の一つである。いずれも、既に設立されている研究センターが中心となって組織したものである。国立大学法人化の10年ほど

前から始まった研究センター設立ラッシュが、COEプログラムの火付け役を担っていることを考えると、僅かその5年前に風力発電や自然エネルギー研究センター構想を立ち上げられれば、今度のCOEプログラムに間に合ったかも知れないことを少々後悔している。例えば、海洋温度差発電の研究から誕生した佐賀大学の海洋エネルギー研究センターは「海洋エネルギーの先導的利用科学技術の構築」(分野：学際・複合・新領域)を提案して採択されたのは、着想と実行が大学の意向と一致して着実に伸びていった結果と高く評価している。

本拠点形成の目的、特色、将来性

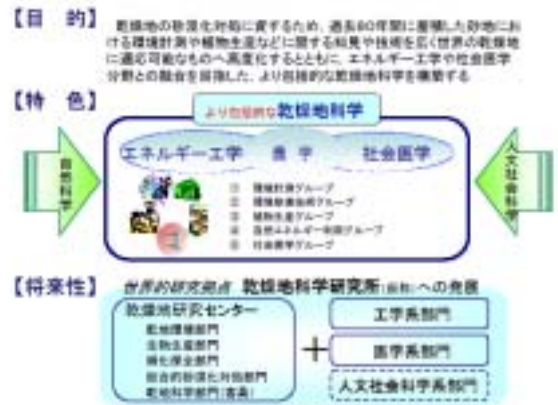


図11 乾燥地科学プログラムの全体構想

世界の陸地面積の41%が乾燥地であり、年間に拡大する砂漠化の速度は九州と四国を合わせた面積に匹敵し、6億人の人が砂漠化の影響を受けている。このプログラムは乾燥地の砂漠化対処に資するため、過去80年間に蓄積した砂地における環境計測や植物生産などに関する知見や技術を広く世界の乾燥地に適応可能なものへと高度化するとともに、エネルギー工学や社会医学分野との融合を目指した、より包括的な乾燥地科学を構築することを目的として、エネルギー工学、農学、社会医学の分野の研究者が連携して、国際社会から要請されている科学技術面での貢献を果たそうとするもので、具体的には次の5つのグループによって研究が進められた。

- 環境計測グループ
- 環境修復技術グループ
- 植物生産グループ
- 自然エネルギー利用グループ
- 社会医学グループ

これらのグループの内、自然エネルギー利用を

グループ長として担当した。事業推進担当者は私と乾燥地研究センター・乾地気象環境学の神近牧男教授（現在鳥取環境大学副学長）である。乾燥地は降雨量が少ないことが特徴であるが、太陽エネルギーと風力エネルギーは多く、エネルギー資源の宝庫でもある。そこで、豊富な自然エネルギーを利用して水を作り出すこと、水を輸送することを砂漠緑化支援技術にすることにした。鳥取砂丘に結露石と言われる現象がある。乾燥した昼間の砂丘も、夜になると温度が低下して相対湿度は下がり、砂丘に転がった石の裏に露を結ぶ現象である。この結露石を人工的に作り出すためにペルチェ素子を利用して低温面を作り出すアイデアである。この造水装置の電力は太陽光発電と風力発電で賄う構想である。

さらに、中国黄土では、高原を切り裂いて流れる川には赤茶けた濁流とは言え、豊富な水があり、内蒙古自治区の毛烏素砂漠では、地下僅か数メートルに地下水があるので、ポンプで汲み上げて利用できる。ポンプへ供給する電力もまた風力と太陽のエネルギーを利用することを考えた。太陽光

発電の砂漠地での利用に関する基礎研究は、平成11年度、12年度の東京電力・受託研究「アリッドドームを利用した沙漠環境における太陽光発電の研究」で一定の研究成果が得られているので、21世紀COEでは風力発電の研究開発に取り組み、線織面風車を開発した。黄土高原の下から吹き上げる風を効率よく捕まえることが出来る線織面風車を写真3に示す。

平成18年に中国・科学技術院を訪問して、西安の北方800kmの陝西省・榆林市（YULIN市・神木県（SIN MU県）の水土保持研究所試験場の一角に設置場所を確保した。この地で風車の現地試験を実施する準備を整えたところである。

乾燥地で使用するペルチェ素子を利用した造水装置の実験装置を図12に示す。如何に効率よく水を製造できるか、大型化し実用に供する時に乾燥地で有用になりうるか、など課題は多い。

造水装置の他に、製氷技術を応用した淡水化装置の開発、乾燥地での生活用水、医療用水、灌漑用水の用途別による製造装置の開発など多くの課題がある。



写真3 黄土高原用砂漠環境風車

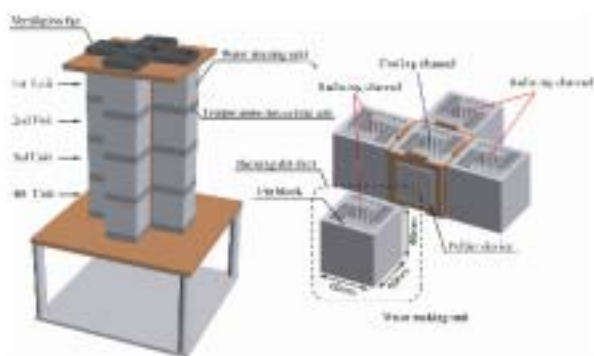


図12 ペルチェ素子による造水装置

9. オフショア風力発電の研究 [26]-[28]

日本に風力発電が本格的に導入されてから約10年経過した今、陸上での風力発電の適地が少なくなってきた。天気予報で見られるように強い風の吹く洋上での風力発電へシフトさせる魅力が増してきた。さらに加えて、地球温暖化と石油ピーク到来の現実には風力発電への期待を膨らませている。

洋上における風況精査は、一様な風が吹くとされる欧州では鉄塔（タワー）を浅瀬に建設する方法で実施され、一地点のデータから広域の風況を推定している。しかし、我々は土佐湾において、小型船舶を用いた予備的風況観測を実施し、図13に示すように、海岸近くと沖合20~40km先での風向が全く逆である現象を見いだした。海洋における風速・風向は、日本近海では複雑地形の陸から吹きつける風や、海陸風などによってかなり複雑であることが予想される。したがって、日本近海では洋上の広い範囲にわたる年間の風況分布を精度良く測定して、その結果から最適地点を決定する必要がある。

洋上の広い範囲にわたって、しかも200mを超える高層まで風速・風向を計測する方法は未だない。そこで、広い海域に超音波流速計をマストの先端に設置したブイ（浮標）を点在させて、海面上高

度 10m 付近の風を計る「ブイ式低層風況観測システム」と、ブイでは得られない高層の風速・風向を、移動可能な船舶にミニドップラーソダを搭載して測定する「船舶式高層風況観測システム」から構成し、洋上に偏在する風の強い地点を探索して、洋上風力発電の最適地を探索する『洋上風況精査システム』（図 14）を実用化する研究開発を提案してきた。この提案は約 2 億円の研究費を必要とするので、平成 13 年度補正予算の「地域新生コンソーシアム研究助成」から応募を始めているが、風力発電の実情が審査員によく知られていないこと、中国地方には産業クラスターが形成されていないことなどから審査員の理解が得られなかった。そこで、NEDO や経済産業省に直接交渉して、地球温暖化抑止や石油ピークを迎える時代

の日本には緊急の課題であることを説明して大型研究助成の導入を図りつつある。洋上の風況精査に加えて、風車設置のためには、海底地盤や地形の情報も収集しなければならず、全体では約 4 億円の研究費を必要とする。さらに、試験研究用の洋上風力発電を 1 基建てるだけでも数億円の研究開発費を必要とするので、国家プロジェクトとして進められるように、研究組織を構築中である。

10. 「地球温暖化」と「石油ピーク」

1997 年に京都議定書が決議されて丁度 10 年経過するが、温暖化防止に対してはどこかよそよそしい。自分達がやらなくても誰かがやるだろうとの感覚と、影響は 100 年先だとの思い違いが大きいかから一向に実効が上がらない。地球温暖化の元凶が人口の爆発的増加であることが分かっているても、少子化を重要問題として担当大臣まで設けて人口増加策を練っているのは、自国の経済振興や産業振興を第一に考えてのことと考えられる。

一方、石油ピークはまだ知識としても広く受け入れられてるわけではないが、一旦理解されるや、たちどころにパニック状態が発生する事柄である。今、国会で与野党間の議論の対象となっているテロ特措法の扱いが影を落とすかも知れないが、早ければ 5、6 年先にも中東からの石油がストップし、日本の社会全体が動かなくなる可能性を含んで危機的状態に向かいつつあるとは識者の見解である。

11. 「石油ピーク」と「もったいない学会」

今、世界は石油ピークを迎えている。石油の生産量と消費量が等しくなって、これ以上新しい油田が発見されない限り減耗する石油資源の生産量は伸びないのであるから、2010 年辺りに石油ピークがやってくるという提言である。物事のピークは過ぎてのち分かるものであって、渦中のその時は分らないものであり、アメリカは 2004 年に既にピークを迎えたと言われているのである。

2007 年の今年、三菱重工に 1,000kW の風力発電 800 基の注文がアメリカからあったのは、石油生産国であるアメリカが石油を温存して、再生可能エネルギーの活用にシフトしたことの証左であるとするべきである。石油ピークを迎えた今、原油価格は高騰を続け、今年 8 月の 80 \$ / バレルが 10 月に 90 \$ / バレルを超えた事実は無視できない。今年 8 月に開催されたアイルランドでの ASPO

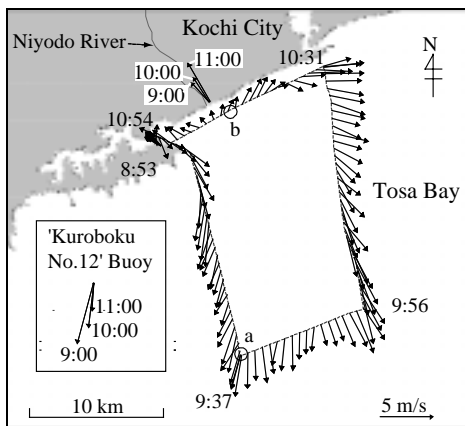


図 13 土佐湾における風況

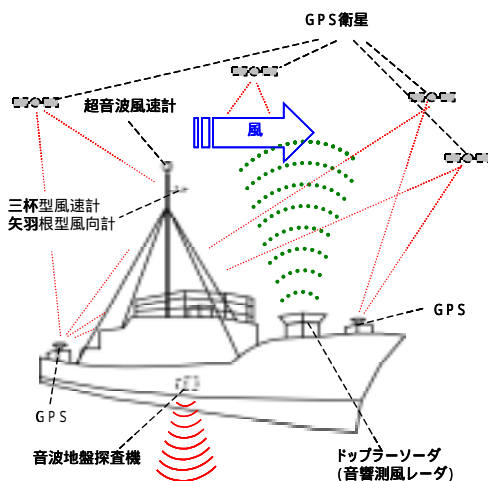


図 14 オフショア風力発電のための洋上風況精査システム

(Association for the study of peak oil and gas) 国際会議で、1年以内に150 \$ /バレルに達するとする意見も出たほどである。エネルギーの96%を輸入に頼る日本に見えない危機が迫りくるようである。脱石油を願うならば、原子力と再生可能エネルギーに頼らざるを得ない。従って、21世紀は再生可能エネルギーの徹底活用が求められる。

石油ピークは農業ピークであり、文明ピークでもある。石油に依存した我々の生活のあり方を早急且つ根本的に変えなければならない。経済優先で走ってきた人間社会は地球温暖化を引き起こした。その原因は、人口爆発と相俟った石油と石炭の化石燃料の大量消費である。人類の取るべき方策の一つは脱石油であり脱浪費である。物質を浪費する現代の生活を改めること、すなわち昔から我々日本人にとって馴染み深い「もったいない」の精神こそ重要である。そこで、「石油ピーク」を唱える石井吉徳東京大学名誉教授を中心として学問的検証に基づいて情報発信する「もったいない学会」(<http://www.mottainaisociety.org/index.html>) を2006.8.28に設立した。石油資源の専門家である芦田譲京都大学名誉教授が副会長となり、EPR(Energy Profit Ratio)の計算を専門とする天野治電力中央研究所特別研究員や風力発電の私が理事となって、地方支部を増やすこと、石油ピークの現状認識を広めることを目的として情報発信に努めている。さらに、北海道大学低温研究所の福田正己教授は2007.2.10に北海道支部を設立し、2007.3.19に私達が鳥取支部を設立し、2007.3.21に芦田譲京大教授が京都支部を設立した。その後、滋賀支部や九州支部を発足させるなど、全国の大学教授の注目するところとなりつつある。珍しく鳥取が他に先駆けて取り組んだことは将来の鳥取県のあり方を先導するものであると自負している。なお、福田正己教授は9月に北大を辞されて、アラスカ大学国際北極圏研究センターに勤務されているので、「もったいない学会」は国際的に発展する勢いである。北海道支部長は北大大崎満教授に交代した。

今後、この「もったいない学会」の思想を中心として日本の産業・政治・経済が動いていくような予感がする。遅れているから改革が容易といえる鳥取県こそ、脱石油・脱浪費の考えに基づく新しい産業、新しい社会を構築できる環境が整っていると見える。

将来のエネルギー源を選択する指標として今考えられているのがEPR (Energy Profit Ratio:エネルギー利益率) である。生み出すエネルギーと、そ

れを生産するのに要するエネルギーの比を表す指標である。すなわち、EPRではエネルギーを生産する意味はなく、元のエネルギーを直接使えばよいことになる。21世紀のエネルギー生産はこのEPRを指標として優先順位をつけるべきと考えている。エネルギーだけでなく、すべての物質、行動や行為ですら、もったいないの観点から現代文明を見直してみる必要が考えられるので、「もったいない学研究所」の設立を構想中である。

12. 大学発ベンチャーと産学連携

鳥取大学発ベンチャー企業として「有限会社自然エネルギー研究センター」を起業した。定款は、私の研究発明、特許を基にした研究開発、実用化・商品化を中心として、次の事業を実施することにしている

オフショア風力発電のための洋上風況精査システムの研究開発

新エネルギービジョン策定、風力発電事業化などのコンサルタント

小型風力発電・自然エネルギー利用機器などの研究開発

乾燥地に於ける砂漠化防止・沙漠緑化支援技術の研究開発

原子力発電災害防止の放射能影響予測システムの研究開発

産学官連携のコーディネート、人材育成 など

今のところ公的な研究資金の調達ができていないので、コンサルタント事業として北栄町・新エネルギービジョン策定事業を入札で獲得したのみである。近い将来には約11億円の研究開発費で、東京大学、気象協会、電力中研、CRC ソリーションズの事業共同体が獲得した「気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発」のような調査事業に参入できるように、人材の養成と、事業共同体への参加を模索している。しかしながら、学内の環境整備が進まないでベンチャー企業としての活動がなかなか捗らないのが実情である。

わが国の地場産業創出やベンチャービジネス起業化は、本来のあり方から見れば、全く新しいことではない。例えば、後に真珠王と謳われるようになった御木本幸吉は明治21年志摩の海産物商として広く商いをしていた30才の時、東京での博覧会に天然真珠を出品した。帰途、東京帝国大学教授・箕作佳吉理学博士に真珠の生態について教を乞うた時、理論上は可能であるが誰もやったことのない真珠養殖の挑戦的事業に乗り出すこ

とを決意したのである、今で言う産学連携の趨りであり、ベンチャー企業・地場産業創出への挑戦であった。それから5年、半円真珠の養殖に成功した幸吉は、さらに12年もの研究に没頭した明治38年に真円真珠の養殖を完成し、明治41年に真円真珠養殖の特許権を獲得した。今、鳥羽にある真珠島の御木本幸吉記念館の庭に97歳の幸吉翁の銅像が威風を払って建っている。彼ほどの熱意があれば現代の我々の産学官連携も成功に導かれるに違いない。

13. 西日本乱流研究会

西日本研究会は私が研究を進めるに当たって大いに支援して頂いた研究会である。

この西日本研究会は25年前に山口大学の斉藤隆先生、大坂英雄先生、そして今は神戸大学の副学長をしておられる薄井洋基先生達を中心となって始められた。当初の目的は、地方にあっては研究のための議論の相手もいなければ、ディスカッションの場もないということから、機械、土木、化学工学、物理など全ての分野から流体力学の研究者達が集まって乱流の勉強をしようとのことであつた。

私や西村龍夫先生は後から入れて頂いた。この中国地域は面積が広過ぎて、研究のための交流がなかなか持てないが、盛んな時には年4回の研究会を、その内の1回はシンポジウムとして毎年開催していた。また、地域としては中国・北九州に留まらず、四国まで拡大して、中には大阪や神奈川県横須賀から参加される人もあつた。

私達の誇りとするところは研究会を通じて若い人達を育ててきたところである。4年生、大学院修士の学生・院生は勿論ですが、一番の値打ちは博士の学位取得者を数多く育てたことである。おそらく20人は居るのではと思っている。10数年前までは、旧帝大以外の大学は学位審査権を持っていなかったもので、研究発表の仕方から、論文の書き方、学位審査のある大学の紹介まで、若手研究者の育成に随分尽力した。

また、この研究会には多くの日本を代表する世界的な権威の先生方にご支援して頂いた。流体力学の実験で世界的に著名な東京大学の谷一郎先生、佐藤浩先生、ドイツからは浜先生にも駆けつけて頂いた。理論の研究では京都大学の巽友正先生、東京大学の今井功先生、とくに巽先生には京大を退官後、京都工芸繊維大学の学長に就任するまでの間、広島工業大学の教授に就いておられた関係

から、この研究会の特別顧問として導いていただいた。当時、東大の航空宇宙研究所で毎年開いていました本乱流研究会をこの西日本乱流研究会が開催することになった時、先生は「蛇が蛙を呑むと言う話は聞いたことがあるが、これは蛙が蛇を飲むということや」と言って喜んで頂き、激励して頂いたことを昨日のように憶えている。

14. 大型外部研究資金の導入

国立大学に対して産学共同研究の奨励、外部資金の導入が始まったのが、応用数理工学科の教授就任と一致する平成7年頃からであり、地方大学も応用技術の研究、実用化研究を取り入れるようになってきた。私の場合、幸い実用化研究に着手してからは連続して大型の研究助成に採択されて、資金面で苦労することはなく研究に打ち込めた。具体的に金額の大きなものから一例を挙げれば、

- (1) 文部省科学研究費(国際学術研究)[共同研究]「質量、熱、運動量輸送に関する乱流制御」平成7年度、390万円
- (2) 東京電力・受託研究「アリッドドームを利用した沙漠環境における太陽光発電の研究」平成11,12年度、1,350万円
- (3) 中国電力技術研究財団・試験研究「先端技術風車・高揚力回転ブレードの基礎研究」平成10年度、220万円
- (4) 文部科学省・科学研究費(地域連携推進)「砂漠化防止・沙漠緑化に活躍する新技術風車の研究開発」平成12,13,14年度、6,450万円
- (5) 文部科学省21世紀COEプログラム「乾燥地科学プログラム」平成14~18年度、総額5,000万円

などである。これらは全てに満足いく成果が得られた訳ではないが、ある程度の方向性は示せたと思っている。

15. 国際交流

鳥取大学在任中、外国にも多くの知己を得て、互いに訪問し合い研究のための意見交換をしたり、中には国際交流契約を締結して本格的な大学間交流に発展させた大学もいくつかある。私の定年退職を契機に中止してしまうのはもったいなく思うので、ここに列挙して後進に託して今後の提携の参考にしてもらいたいので、交流相手大学と担当教授、その内容などを年代の近いほうから順に列

挙すれば、

- (1) Ecole Polytechnique de Montreal (カナダ・Montreal):
Prof. Ion Paraschivoiu: 鉛直軸風車の世界的権威, 2004.9-2005.7 研究室に滞在, 2005.10 モルドバでの ARA 総会講演会に招待され Wind Power in Japan を講演, 2005 林が Ecole Polytechnique を訪問, 教授の著書 "Theory and Design of Wind Turbine" の日本語版「風車の理論と設計」を出版.
- (2) 韓国海洋大学校 (韓国・釜山): 金充海教授
元々, 本学土木工学科と国際交流していた韓国海洋大学校から, 金充海教授の研究生康仁勝君が国費留学生として博士後期課程に入学したことで, より親密になった大学である. 今年度で留学を終え帰国予定の康君が, 始まったばかりの韓国の風力発電を担って行くことを大いに期待している.
- (3) 東北農業大学(中国・ハルビン): 李文哲教授, 李岩助教授
従兄同士の教授と助教授は双方鳥取大学の卒業生である. 機械工学科の動力機関講座で学位取得を果たした教授の勧めで, 風力発電の研究で学位を取得した李岩助教授は, 平成 17 年度に帰国して, 中国で風車の研究の準備中である.
- (4) 内蒙古農業大学 (中国・内蒙古自治区・フフホト): 王林和副学長, 田徳教授
王副学長は乾燥地研究センターと強い連携を持ち, 高知大学で学位を取得した砂漠緑化の研究者, 田教授は同大学・工程学院で風車の研究に打ち込んでいる中国を代表する風車研究の第一人者である.
- (5) Jomo Kenyatta University of Agriculture & Technology (ケニア): Lecture Paul W. Magoha
風力エネルギー利用に関する研究をするために林研究室に 2 か月滞在した.
- (6) Syracuse 大学 (アメリカ・New York 州 Syracuse): Prof. Hiroshi Higuchi
樋口教授は東京大学出身で, 共同研究やアメリカの大学制度についての依頼講演のためにたびたび来学し, 林研究室の原助教授が留学した縁もあり, 今も交流を続けている.
- (7) Nottingham 大学 (イギリス・Nottingham): Prof. Kwong-So Choi
文部省在外派遣研究員として 4 ヶ月滞在した大学である. Choi (日本名鈴木宏明) 教授は鳥取大学の卒業生であり, Nottingham 大学の

教授として, 乱流温度境界層熱伝達研究の欧米の第一線で活躍中である.

- (8) Houston 大学 (アメリカ・Texas 州 Houston): Prof. Hussein
乱流の研究で世界的に著名である Hussein 教授はバングラディッシュの貴族出身であり, アジアからの留学生を多く抱えている. 林は 1989 年に 2 か月程滞在した.
- (9) Ruhr-Universitat Bochum (ドイツ Bochum): Prof. K. Gerstain
在外派遣研究員として, 林は 4 ヶ月滞在した. 乱流境界層の世界的権威である Gerstain 教授は, 林が名古屋大学の院生であった時に名古屋大学に 1 年程滞在されて以来, 交流が続いた.

16. おわりに

長い年月の研究者生活の内に多くの人々にご支援頂いた. ここに一人一人の名前を記して感謝の意を表したいが, 余りにも多過ぎると抜け落ちる人が出るのを恐れて全て割愛させてもらった.

技術者・研究者として過ごした 50 年近くを振り返ると, 大学の研究者になる以前の技術者としてモノづくりに励んだこと, 大学の原子力研究室で学んだこと, 社会貢献に関すること, 地域共同研究センターに関することなど書き残すべきことがまだ多くある. これらは, 定年退職の機会に話くなり, 文章にまとめるなりしたいと考えている.

参考文献

- [1] Fujimoto, T., and Hayashi, T.: On the Distortion of Scattering Patterns of Molecular Beams from Solid Surfaces, Japan. J. appl. Phys., Vol.13, No.2, pp.334-340, 1974.
- [2] Furuya, Y., Fujimoto, T., and Hayashi, T.: Experiments on Scattering of Molecular Beams on Polycrystalline Platinum Surfaces, Japan. J. appl. Phys., Vol.15, No.12, pp.2413-2420, 1976.
- [3] Fujimoto, T., Furuya, Y., Hayashi, T., and Takigawa, H.: Scattering of Molecular Beams on the Polycrystalline Nickel Surface, Rarefied Gas Dynamics, Progress in Astronautics & Aeronautics (AIAA), Vol.51, Part.1, pp.565-574, 1977.
- [4] 林 農, 若 良二, 吉野章男, 長井 博: 一樣せん断流中に置かれた接線方向吹出しを持つ円柱の中央断面翼性能, 日本機械学会論文集 (B 編), 55 巻, 515 号, pp.1896-1903, 1989.

- [5] 林 農, 吉野章男, 若 良二: 一様せん断流中の接線方向吹出しを持つ円柱の空力特性値 (第2報: 種々のシアパラメータに対する発生揚力と各種特性値の関係), 日本機械学会論文集(B編), 57巻, 539号, pp.2209-2216, 1991.
- [6] Hayashi, T., Yoshino, F., and Waka, R.: The Aerodynamic Characteristics of a Circular Cylinder with Tangential Blowing in Uniform Shear Flows, JSME International Journal, Series B, Vol.36, No.1, pp.101-112, 1993.
- [7] Hayashi, T., and Yoshino, F.: The Effect of a Velocity Gradient on the Aerodynamic Forces of a Circular Cylinder with Blowing, Journal of Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.5, No.3, pp.317-324, 1992.
- [8] 林 農, 吉野章男: せん断流中の円柱に働く空気力評価の一試み, 日本機械学会論文集(B編), 56巻, 522号, pp.289-294, 1990.
- [9] 林 農, 吉野章男, 若 良二, 河村哲也: 傾斜円柱の表面圧力分布について(円柱軸方向圧力分布へのエンドプレートの影響), 日本機械学会論文集(B編), 58巻, 545号, pp.71-78, 1992.
- [10] 林 農, 吉野章男, 若 良二, 田辺征一, 河村哲也: 傾斜円柱からの放出渦の組織構造に関する研究, 日本機械学会論文集(B編), 58巻, 546号, pp.297-304, 1992.
- [11] 河村哲也, 林 農: 傾斜円柱まわりの流れの数値計算, 日本機械学会論文集(B編), 58巻, 548号, pp.1071-1078, 1992.
- [12] Kawamura, T., and Hayashi, T.: Computation of Flow around a Yawed Circular Cylinder, JSME International Journal, Series B, Vol.37, No.2, pp.229-236, 1994.
- [13] 河村哲也, 林 農: 数値シミュレーションによる種々の傾斜角を持った円柱まわりの流れの研究, 日本機械学会論文集(B編), 60巻, 569号, pp.48-55, 1994.
- [14] Hayashi, T., and Kawamura, T.: Non-Uniformity in a Flow around a Yawed Circular Cylinder, Flow Measurement and Instrumentation, Vol.6, No.1, pp.33-39, 1995.
- [15] 林 農, 吉野章男: 積層格子の抵抗係数に関する研究, 日本機械学会論文集(B編), 57巻, 533号, pp.110-114, 1991.
- [16] 林 農, 吉野章男, 若 良二, 浅沼邦宏: 円管格子中の乱流遷移と流体抵抗の変化について, 日本機械学会論文集(B編), 60巻, 571号, pp.834-841, 1994.
- [17] Hayashi, T., Kawamura, T., and Ashida, M.: Laminar, Transition and Turbulent Flow through Star-Conduits, Proceedings of International Conference on Fluid Engineering, Vol.3, JSME CENTENNIAL GRAND CONGRESS, Tokyo Japan, pp.1661-1666, 1997.
- [18] 林 農: 「砂漠化防止・沙漠緑化に活躍する新技術風車の研究開発」, 平成12~14年度, 科学研究費補助金(地域連携推進研究費(2))研究成果報告書, 平成15年3月
- [19] 林 農, 原 豊, 康仁勝, 加藤優, 藤本裕己, 若良二, 田川公太郎, 神近牧男: 沙漠環境風洞の特性計測(定常風と脈動風), 鳥取大学工学部研究報告, Vol.37, pp.89-106, 2007.
- [20] Hayashi, T., Li, Y., and Hara, Y.: Wind Tunnel Tests on a Different Phase Three-Stage Savonius Rotor, JSME International Journal, Series B, Vol.48, No.1, pp.9-16, 2005.
- [21] 林 農, 康仁勝, 原 豊, 河村哲也: 直線翼鉛直軸風車のステップ風に対する過渡応答について(一定回転数条件および一定トルク条件), 日本機械学会論文集(B編), 巻, 号, pp. -, 2008. 掲載可
- [22] 「北条町 風力発電事業化研究報告書」平成15年3月, 北条町地域エネルギー研究会, 鳥取県北条町. 鳥取大学 pp.1-207.
- [23] 「鳥取県における乾燥地科学, 環境, 自然エネルギーを中核とする産業創出調査報告書」, 中国活性化センター, 平成16年3月 pp.1-98
- [24] 林 農, 劉 薇, 佐々浩司, 原 豊: ミニドブラーソーダによる風況精査, 日本機械学会論文集(B編), Vol.69, No.688, pp.2598-2605, 2003.
- [25] Hayashi, T., Liu, W., Sassa, K., and Hara, Y.: A Preliminary Investigation of Low-Cost SODAR Anemometry, Wind Engineering, British, Vol.27, No.4, pp.285-298, 2003.
- [26] Hayashi, T., Kato, M., Tagawa, K., and Hara, Y.: Study on the New Method for Investigating Offshore Wind Characteristics by Ship's Cruise, 2006 European Wind Energy Conference (Athens, Greece), Online proceedings, 2006.
- [27] Hayashi, T., Kato, M., Sassa, K., and Hara, Y.: Mobile Observation Method for Investigating Offshore Wind Characteristics, Proc. 2004 European Wind Energy Conference & Exhibition, London, UK, (CD-ROM), 2004.
- [28] Hayashi, T.: On the New Observation Method for Optimal Site of Offshore Wind Farm, Proceedings of Wind Power Shanghai 2007, pp.331-336. (plenary), 2007

(受理 平成19年10月30日)