



GHG (Green House Gas) と風力発電

昭41卒 高橋知之 (コマツ)

1. 地球温暖化

地球温暖化に関する記事が最近つとに新聞報道に喧しい。温暖化が進むと陸地では地表からの水の蒸発が進むため、内陸部では乾燥しやすくなり旱魃が発生しやすくなる。中国北部では乾燥が進みかつ地下水位の低下が進行している (New York Times)。今年のオーストラリアでの旱魃、つい最近の US ロスアンゼルス近郊での大火事も温暖化の影響と考えられる。海上でも水の蒸発が進みこれが陸地に降ると洪水が発生しやすくなる。中国南部では洪水の影響で1千万人が被害を受けた。また台風の発生個数は減るが一つ一つの規模が大きくなって被害が大きくなるとの予想もある。一昨年米国ニューオルリンズを襲ったハリケーン"カトリーヌ"による被害もそうだし、日本では台風10号により多摩川が増水した。多摩川が今回のように増水したのは十数年前の台風16号だったらしいが、これもその影響があるかも知れない。ゴア元副大統領は An Inconvenient Truth (www.climatecrisis.net でCDを販売) でノーベル平和賞を取り、ツバルの住人約一万人はニュージーランドとオーストラリアに移住を考えている。

2. 京都議定書

地球温暖化の原因が CO₂ 濃度にあるという考え方には異論がありその真否は明らかではないが、CO₂ 濃度は産業革命の始まった 1750 年頃まではほぼ 280 ppm であったものが、それ以降は急激な上昇を示しており 2005 年には 379.1 ppms、2006 年には 381.2 ppm と過去最大となった。メタンガス



Not expected to be economic: An artist's impression of Nakem's World Trade Centre, now under construction, complete with its complement of 675 kW of on-site wind power generation

CH₄, 酸化窒素 NO₂ も同様の傾向を示している (WMD Press Release)。何れにせよ CO₂ が地球に何らかの影響を与えていることは間違いなからう。そこで1997 年に国立京都国際会館での第三回気候変動枠組条約締約国会議、COP3 が開かれ、妥協の産物として 2012 年までの先進国の削減目標が決められた。

日本は削減量 6% (対1990年) に合意し批准した。US は国として批准していないが各州や自治体など 281 団体が批准している。しかしながら日本より高い削減目標を掲げた EU などの西欧諸国が抑制に努めているのに対し、日本ではプラスマイナス・ゼロどころか +8% と増加しており、この状況になっても政府当局は効果的な対策を打ち出せずにいることから、既に達成が難しいとされている。工場等からの排出量は割り当てられた目標を達成し削減傾向にあるものの、運輸・業務 (事業所等)・民生部門の増加が目立ち、特に自動車の氾濫により自家用乗用車については 2004 年現在で +52.6% もの著しい増加を見せており、日本全体の総排出量の 16% を占めている ((Wikipedia)。これは最近 RV 車とか 1-BoxCar が増加し、3ナンバーの車が増えていることから見て当然である。

世界の CO₂ 排出量は 1998 年で 229 億トンであり (オークリッジ国立研究所)、日本では 2000 年で 12 億 3700 万トン (環境省資料) で全世界の約 5% を占めている。これは排出国のなかで US、中国、ロシアに次いで 4 番目である。このうち日本の CO₂ 排出量の内約 30% が発電時に発生する。

発電後使用された電気は産業・民生用に用いられるから発電そのものの排出量

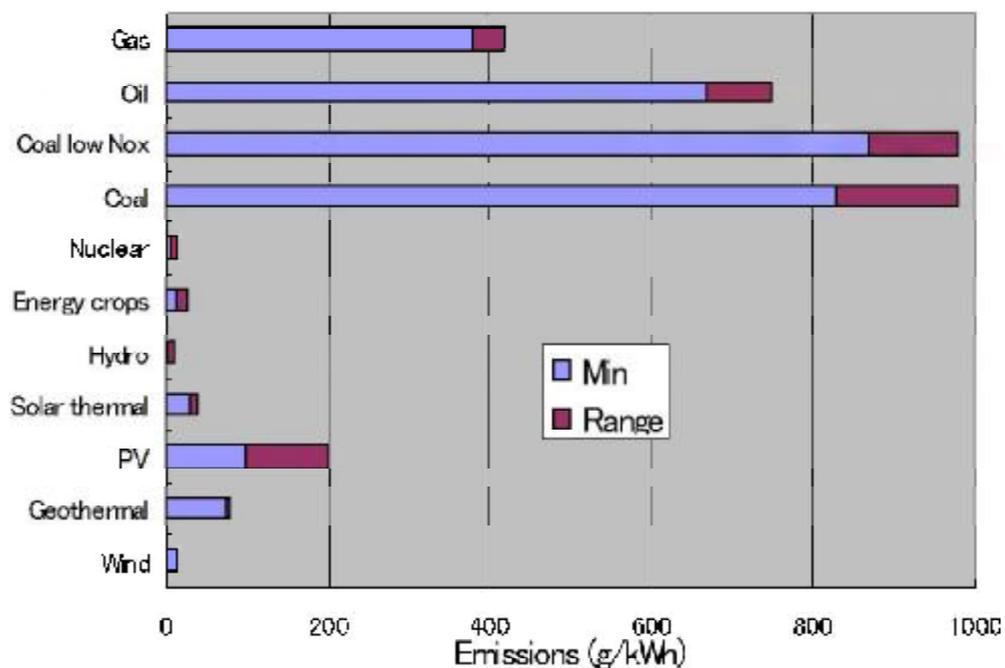


図 1 CO₂ の排出量 Wind Stats Vol. 18 No. 3

は約 7% である。その意味で発電時のCO₂の発生を少なくする努力がEUを始めとする先進諸国で進められている

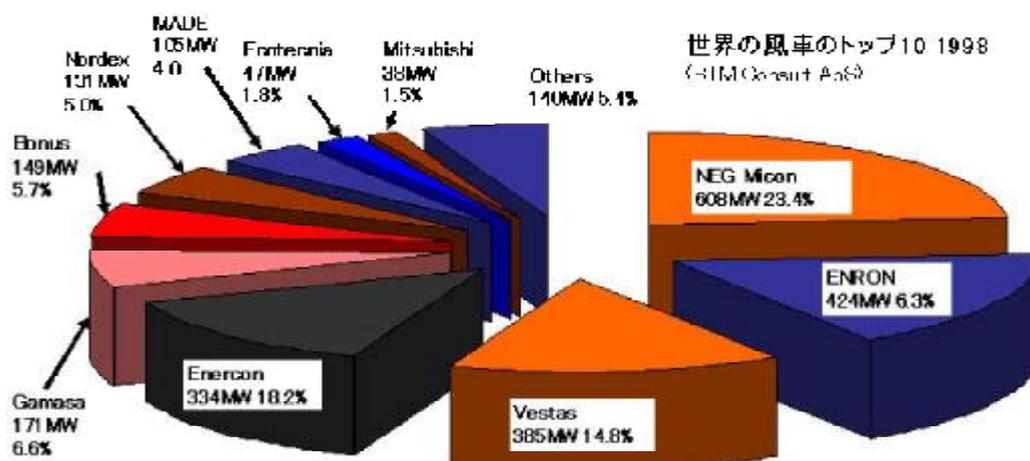
3. 各種発電方法

発電方法によるCO₂の排出量を示したのが図1である。この図で1MWとあるのは1MW = 1000kW = 10⁶Wのことで、同じく1GW = 10⁹W、1TW = 10¹²Wである。この図は設備を建設し、発電し、廃棄されるまでの全工程を含んだ排出量を発電量で割った値を示し、棒グラフの青い部分は最小値で、赤い部分は最大値までの範囲を示している。

これによれば天然ガス・石油・石炭による排出量は他の発電方式の十倍以上の排出量となっている。Coal low Noxとは脱硝式の低公害タイプの発電である。原子力発電の値が小さいが、イギリス議会の特別調査委員会の報告では、これは少なく見積もり過ぎで少なくともこの2倍を排出するということである。多分廃却時のコストが入っていないのだろう。また地震大国である我が国での刈羽崎原発の事故は、炉体にも影響を及ぼし復旧までにかかなり時間が掛かりそうで、その間の電力の供給が問題になっている。

次のEnergy Cropはエタノール発電であり、この詳細は以前に石田氏が本ニュースで述べられていた。日本には放棄農地が多くあり一見有望と考えられるが、放棄されているのは農耕人口が少ないことが大きな原因の一つであり、余り期待出来そうもない。

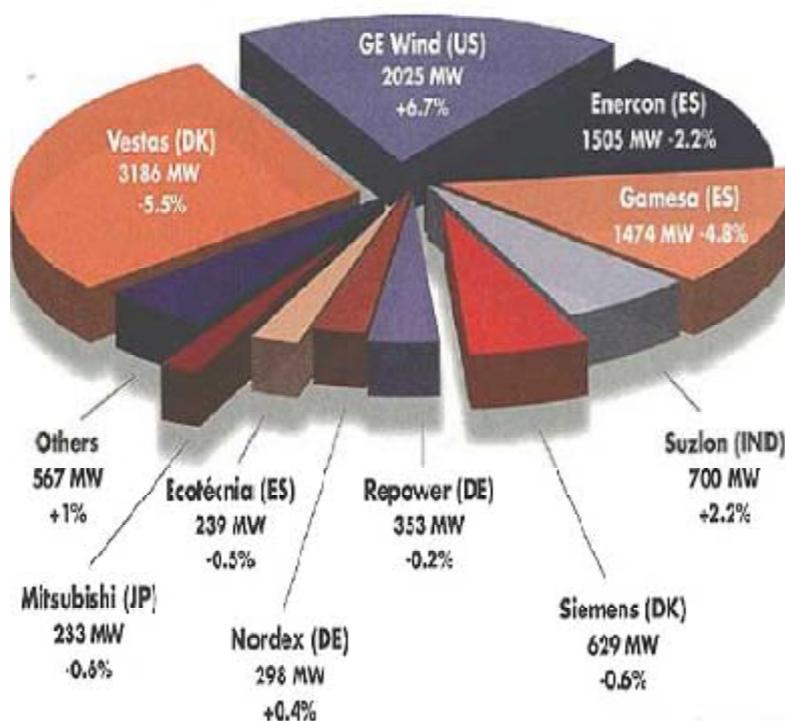
Hydroは水力発電であり、一番排出量の少ない発電方法の一つである。雨量が多く山の多いわが国に有利な発電方法であるが、多分開発可能な場所にはもうダムが出来ており、更なるダムの建設には色々として批判が出ているのはご存知の通りである。



次は太陽熱発電と太陽光発電である。PVとはPhoto-voltaicの略であり太陽光発電である。PV発電の排出量が他の再生可能エネルギー(Reusable Energy)に対して多いのは、発電素子を製造する際に大量の電力を必要とするからである。これは我が国の最も得意とするところであるが、最近京セラがスペインに建設した太陽光発電所は13.8MWであるが36haの面積を占める(朝日'07/Spt. 13)。これは発電量1kW当たり26平方メートルつまり5m四方で1kWと考えればよい。また東海道新幹線沿いの岐阜県内にある高さ37.1m*幅315mの発電設備の出力は500kWである。つまり纏った発電を行うにはかなりの面積が必要となる。このPV発電では、日本はつい最近ドイツに抜かれ第二位となった。

Sharing the pie — top ten wind turbine suppliers 2005

All slices shrink compared with 2004, except GE, Suzlon and Nordex



一般的に火力とか水力・原子力は一基当たり数百万kW級の発電量である。その千分の一が風車で、その又千分の一が太陽光発電と考えれば理解しやすい。

世界の地熱発電量は約8400MWであり、その内USは2000MWで第一位である。フィリピンは1931MWで全発電量の約1/4を供給している。日本はほぼ5位にあり561MWを地熱発電に頼っている。ガソリン価格の上昇に伴い地熱発電を見直そうという動きがある(Wikipedia)。変った所ではアイスランドでは全消費エネルギーの55%を地熱から得ている。その主な用途は暖房と発電である。また最近ニュージーランドで採掘の終わった石油や天然ガスの井戸から20~90℃の比較的低温の地下熱を利用したバイナリー発電で最大160MWの電力を生み出す余地があると発表された(NEDO海外レポート)。

ここには載っていないが最近開発されつつあるのが洋上発電である。潮汐・波力・潮流発電などがある。フランスのSt. Maloでは12mの潮位差を利用した発電所が1966年に運用を始めた。潮汐発電は5mの落差があれば可能と言われて

おり、現在世界に少なく見積もって 100 の発電所がありエネルギーとしては 50TWh の潜在能力があると見積もられている。

波力発電には 2 形式があり、その一つは波力で斜面を使って持ち上げた海水を一箇所に集め落下時発電するというものであり、試験プラントは Wave Dragon と呼ばれ 2003 年に運転開始されている。

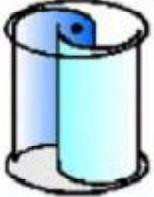
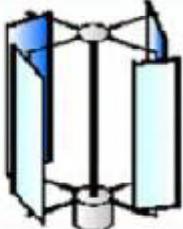
もう一つは海面を含んだ箱の中の空気は波により上下する際に海面により押し上げられたり押し下げられたりするが、この空気の出入り口に発電機を取り付けるもので、一種の風車である。スコットランドの Islay 島に据付けられた Limpet は 2000 年に運開し 75kW を発電している。

潮流発電の一号機は、イギリスの North Devon で 2003 年にプロジェクトが立ち上がった。直径 11m の可変ピッチ 2 枚翼のプロペラが深さ 10m で 15rpm で回転している (beaufort 6 3/2007)。

4. 風力発電

風車の歴史は古い。図 2 に垂直軸風車の例を示す。ジャイロミル形は現在町のあちこちで見られる数 kW の発電風車である。ダリウス形も現在も使われている。これらの風車は風向きには関係せず発電出来るが、物によっては外部電力により回転させないと発電しないものがあるから、要注意である。ある東京近郊の都市でダリウス形の発電機を多数の小学校に取り付けた。市民団体の調査によれば、これは外部から回してやらなければ発電しない。立地場所の風が少ないため

方向の制御は必要ないですが、水平軸風車に比べ一般に低回転高トルクです。

	<p>バドル形風車</p> <p>風速計などでよく見られますが、このタイプは風速以上の速度で回転できません。</p>		<p>サボニウス形風車</p> <p>羽が中心を越えているところが味噌です。起動する力は強いが、低速回転です。</p>
	<p>クロスフロー型風車</p> <p>羽の形状によって揚力も利用できるタイプです。ただし低速回転用です。</p>		<p>ジャイロミル形風車</p> <p>羽は翼形をしており、羽の取り付け角度を変えながら揚力を使って回転します。</p>
	<p>ダリウス形風車</p> <p>羽の断面は翼状です。また羽のカーブは縄跳びをしているときの縄のカーブと同じです。</p>	<p>図 2 垂直軸風車の例</p>	

これらの風車は発電よりも消費電力が大きくなってこのプロジェクトは黒字になることは無いことが判明したそうである。市側はコンサルタントをした大学側が悪いと言い、大学側は 15kW 風車で見積もったが 7.5kW を設置したことに問題があるとしている。しかし一番の問題は町中の小学校のように風の無い場所に設置したことであると専門家は言っている(報道特捜プロジェクト)。

図 3 は水平軸風車の例である。風力発電事業では、一般にはプロペラ形の風車が多く中規模のものでは一枚翼、二枚翼もある。大規模な風力発電では三枚翼が採用されている。以前は固定翼や固定 Yaw が採用されていたが、発電効率を上げるため最近では可変ピッチ翼、可変 Yaw (風の方向に合わせて上部を回転させる)が採用されている。変わり種では2棟のビルから成るバーレーン国際貿易センタービルの風車は、両ビルの上に 3 本の梁を渡しこの上に 3 基の風車 (225kW*3) を載せている(1頁の写真参照)。この他スクリューマグナス風車が秋田県潟上市の村上信博氏によって発明された。これは翼ではなく螺旋溝を切った 5 本の棒を水平軸に直角に取り付け、外部からこの棒を自転させたとき、風が吹くと「マグナス効果」により水平軸が回転し発電する(朝日 '07, Jun, 17)。

風力発電にも問題がある。一番はバードストライクである。渡り鳥は風の流に乗ってやって来るから、風の通り道に設けられた風車にぶつかるのは止むを得まい。ただ最近ではレーダを利用してこれを避けようという試みも始まっているそうである。一方で、バードクラッシュより温暖化による気温の上昇の影響のほうが深刻だという意見もある。また US の風力協調委員会 (NWCC) の報告では風車による衝突死は全体の 0.01~0.02% に過ぎず、通信用鉄塔による衝突死の 1~

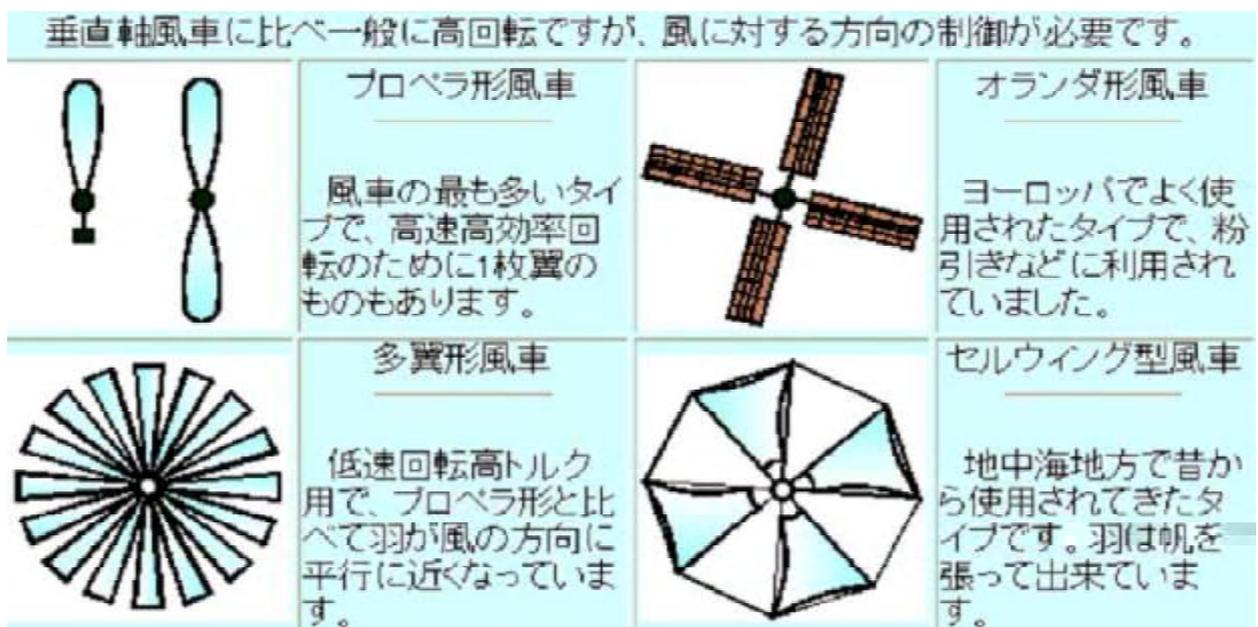


図 3 水平軸風車の種類

2% に比べはるかに少ない、と言う報告もある(朝日 '07 Aug. 29)。 但し国内では建設予定地に尾白鷲がいるので調査のために建設が延び延びになっている風車もある。

もう一つの問題は太陽光発電も同じだが、風任せであり発電量が変動する。 このため風力だけでは全電力をカバーすることが出来ない。 系統電力の 12% という数字が数年前に出たが最近の情報では、イタリアでは 2012 年初めまでに再生可能エネルギーの比率を 25% に引き上げるとしている (NEDO 海外レポート)。 この他発電された電力を蓄電池に貯めるとか、電力で水素を発生させエネルギーとして使うとかの研究が行われていると聞く。 以下大規模風力発電〈ウインドファーム〉に関する話をする。

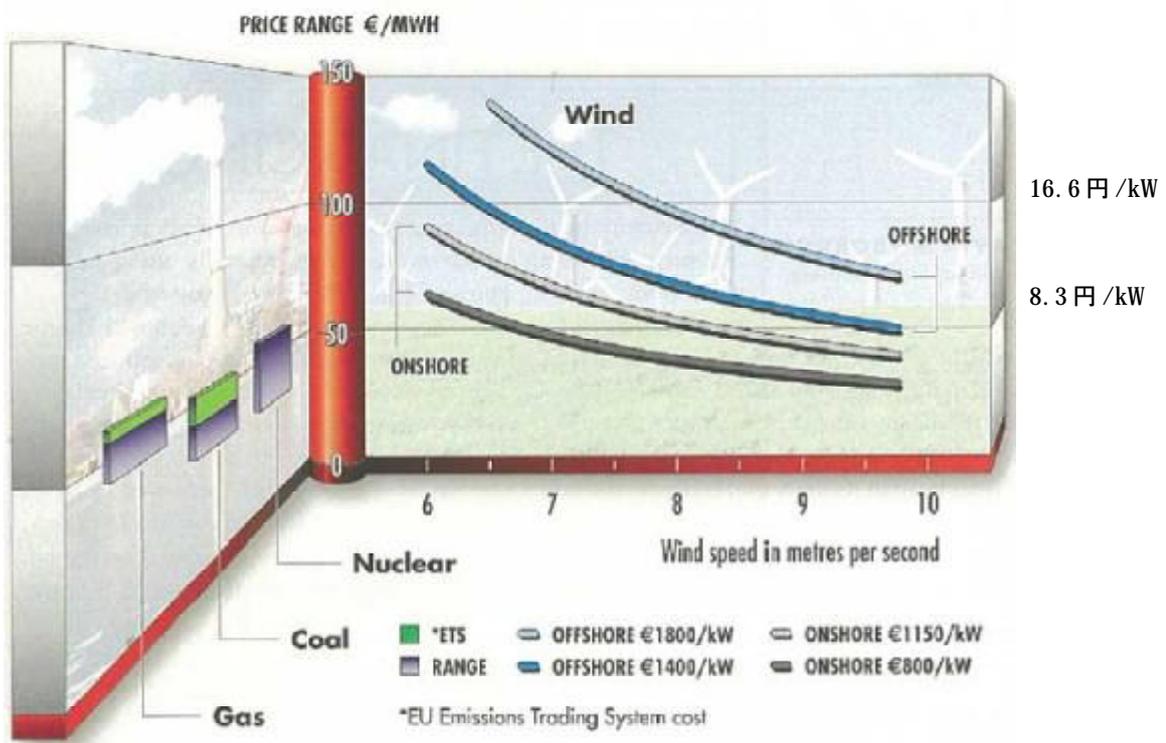
では発電コストはどうか? 図 4 は発電コストを風力と他の発電方法を比較したグラフである。 左側にガス・石炭・原子力の発電コストを示している。ここに ETS (EU Emission Trading Scheme) という緑色の部分が追加されている。これは'05年に発効されたもので CO₂ が許容量を超えた場合石炭火力なら 8Euro/ton で天然ガスの場合 3.2Euro/ton で取引される ETS を加算したものであり、これを加算す

Comparing the cost of wind and thermal generation in 2004

Coal, gas and nuclear cost ranges stacked against top and bottom range costs for wind power projects at differing wind speeds

図 4 発電コスト比較

Wind Power Vol. 21 No. 1



るとヨーロッパでの発電コストは大体 8.3円/kW となる。また最近のロシアのエネルギー政策で天然ガスが値上がりしてきたため、ガス発電は石炭火力より高くなり風力発電と肩を並べるようになってきた。これを考慮すると風力発電も良い線行っていると考えられる。

正面の図に風力発電のコストを年間の平均風速を横軸にして、陸上設置の場合 (ONSHORE) と洋上設置の場合 (OFFSHORE) の上限値と下限値の発電コストを示す。当然ながら平均風速の大きい方が発電コストは安くつく。OFFSHOREの方が高つくのに何故最近のヨーロッパで重要視されているのかと言うと、OFFSHORE用の大型風車は最近開発されたものであり、将来的にコストは下がると考えられている。2020年にはONSHOREは現在の発電コストの70%に、OFFSHOREでは60%まで下がると予測されている(Wind Power)。

またもう一つの理由として多分土地が狭いためにONSHOREの設置場所が少なくなっているという問題があると考えられる。また後で述べるが風車は翼径は大きい方がより多くのエネルギーを転換できるため、ヨーロッパではOFFSHOREに大径の風車を建てる計画が多くある。現在5MWの風車の開発も伝えられているし、翼の直径の最大は105mという記事もある。商用的には3MWクラスで羽根の直径は90mの風車が洋上に建てられている。将来的にはICORASS(Integral Composite Offshore Rotor with Active Speed Stall Control)なる計画も発表されている。

これは翼径170mの2枚翼の風車で水深40mの海底に10MWの風車を建てるというものである。目標の発電コストは5.6円/kWhである(Wind Stats)。

一方USでは土地が広いので陸上が主で、そこまで大きな風車は必要無いようである。

日本国内でも翼径90mの3MWの風車が来年予定されている。これは本来は今年の建設計画が予定されていたが、姉羽建築士による偽装建築の影響を受け、建築基準法が改正されたため認可が遅れているためである。ここにも縦割り行政の影響が出ていて塔と基礎は国交省、塔の上部は経産省が管轄しているためと思われる。この結果建設認可が遅れているため、今年の国内での建設予定数は大幅な遅れを生じ、総発電量は前年よりも僅かな減少となっている。



10 MW ICORASS

また国内でも立地条件の良いサイトが少なくなってきたためか、国立公園内への設置や洋上設置の検討が始まったようである。

ではどれ位世界で風力発電が行われているかを示したのが図 5 である。全世界での発電量は 2005 年に約 60GW であったものが 2010 年には150GWに達すると見積もられている。この内訳は現時点では全風力発電量の内ヨーロッパが72.5%, USが15.4%であるが、2025年にはヨーロッパでは32.6%, US28.3%, Asia24.8%と予測されている。但しこれはヨーロッパ, USでの発電量が減るという意味ではなく、

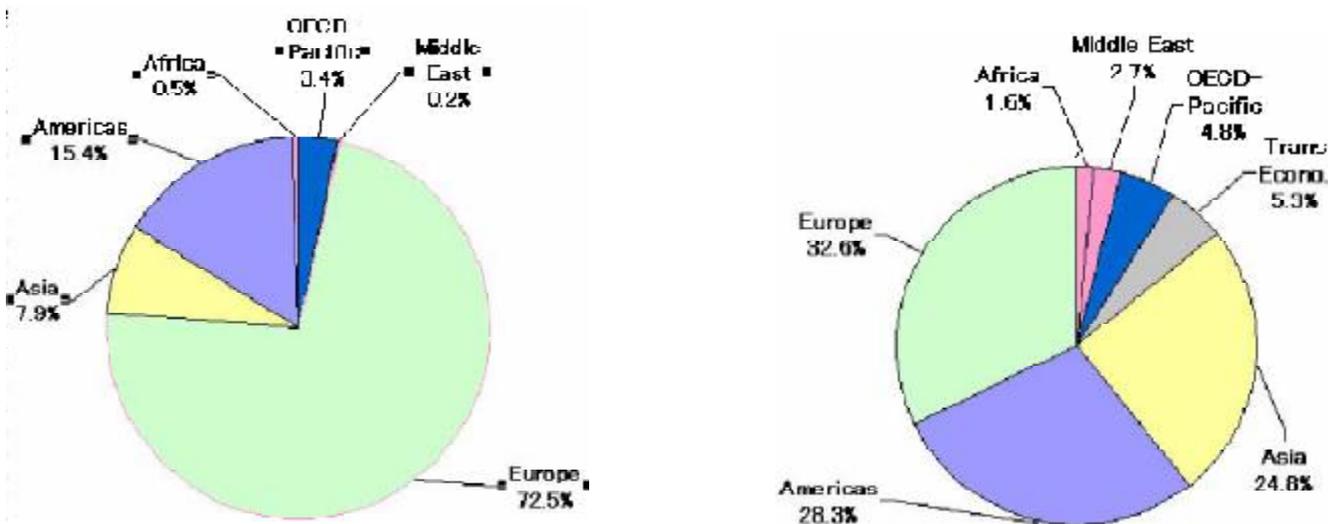


図 5 地域別風力発電量 (2004年、Wind stats. Vol19, No.1) (2025年)

全体のパイは現在の数倍になる。すなわちヨーロッパ, USでの設置状況はこれまでと変わらないが、アジア特にインド, 中国での急成長が見込まれるからである。

では日本はどうか？ 京都議定書発行以来我が国でも風力発電量は増加している。1990年では1MWであったものが2006年には1,491MWに達している。しかしながら2010年までの目標3,000MWの達成は困難と考えられている。表1に各電力発電会社の系統電力容量と風力発電量を示すが、残念ながら風力発電量は全系統電力網の0.5%しかない。何故我が国で風力発電が発展しないのか？ 色々な理由があると思われるが、一番大きい理由は政策にあると思う。先進各国は風力発電へ

電力会社	電力網容量 (GW)	風力発電量 (MW)	比率 (%)
北海道	5.3	170.15	3.2
東北	14.7	374.22	2.5
東京	59.4	57.04	0.1
北陸	5.5	16.25	0.3
中部	26.4	55.95	0.2
関西	32.2	14.18	0.0
中国	11.3	17.64	0.2
四国	5.8	17.76	0.3
九州	16.1	188.21	1.2

(2002年) (2005年)

日本の風力発電
合計 176.8GW / 923.7MW = 0.52%

各種の政策を実施している。例えばドイツでは風力発電 (Wind farm) へ接続する義務は電力会社にあるし、US では 2008 年まで新規設備の10年間の税負担を零にしている。

スペインでは固定買取価格か、補助金制度の何れかが選択でき、イギリスでは再生可能エネルギー (Renewable Energy) の全エネルギーに対する割合を現時点で、全電力供給量の10%にするといったように、各国が各種取り組みを行っている (NEDO 海外レポート No.1010, 2007.10.31)。今年のハイリゲンダムサミットで当時の安部首相が提唱した 2050 年までに温室効果ガス (Greenhouse Gas) を 50% 削減するという提案は具体策に欠け、現在では US の大統領候補やイギリスのブラウン首相は 80% にまで目標を up している。たぶん日本政府が具体的な基本政策を示す時期に来ていると思われる。

(つづく)

Editor's note : 高橋氏は、風力発電設備の増速機部を中心とする機械部についての IEC/ISO 規格制定の日本代表委員です。

—— 京機短信への寄稿、宜しくお願い申し上げます ——

【要領】

宛先は京機会の e-mail: jimukyoku@keikikai.jp です。

原稿は、割付を考慮することなく、適当に書いてください。MSワードで書いて頂いても結構ですし、テキストファイルと図や写真を別のファイルとして送って頂いても結構です。割付等、掲載用の後処理は編集者が勝手に行います。宜しくお願い致します。

京機会ニュース記事投稿のお願い

京機会ニュースは、ご覧いただきやすい紙面を目指し、編集改革を進めております。最新号 (2008 春号 No. 22) は、来年3月初旬頃発行予定です。「**会員のページ**」(同窓会お知らせ・報告) に掲載希望の場合は、**12月末日までに原稿 (写真) を京機会事務局までお送り下さい。原稿字数は、200字以内**でお願いいたします。画像ファイルも可能です。

なお、紙面の都合により事務局にて文章省略させていただくことがあります。ご了承下さい。また、お送りいただいた写真は返却いたしません。



京都大学フォーミュラプロジェクト

2007 年度 プロジェクトリーダー 堀内 亮

2007 年度 総括

2007 年度体制が発足して間もないころに考えていたことがありました。なぜこのチームが勝てないのか、メンバーを一人一人見ていると、全員が日本トップクラスの能力を持っており、ほかのどのチームよりも恵まれていることは一目瞭然でした。しかし、京大生の特色でもあります、それぞれが非常に変わった、独特の感性をもっているとともに、まったく違った分野において図抜けていたため、大変に扱いにくく、また馴れ合わないメンバーが多いのも確かでした。したがって、チームを度外視した個人プレーや自己中心的な設計が多く、チーム全体として活動しているような雰囲気はどうしても欠如していました。

もしそこにチームワークが生まれたら？ それぞれの欠点を別のメンバーが埋めるような動きができたなら？ それは、最強のチームの誕生に等しいのではないか。今から思えば、その疑問こそが 2007 年度体制構築の礎となりました。

チーム意識を持たせるため、最初に取り組んだのは設計環境の改善でした。 昨





年度は、パーツごとに別々に設計を進め、そのアセンブリをリーダーが一人で行う体制をとっておりましたが、これによる意見の食い違いやパーツの干渉、さらにはメンバーの思い込みによる欠陥が多く見られました。そこで今年度は、できるだけメンバーが集まって設計を行うことで、それらの問題点を回避するとともに、多人数で考えることによる設計の洗練化が図れるよう体制を整えました。

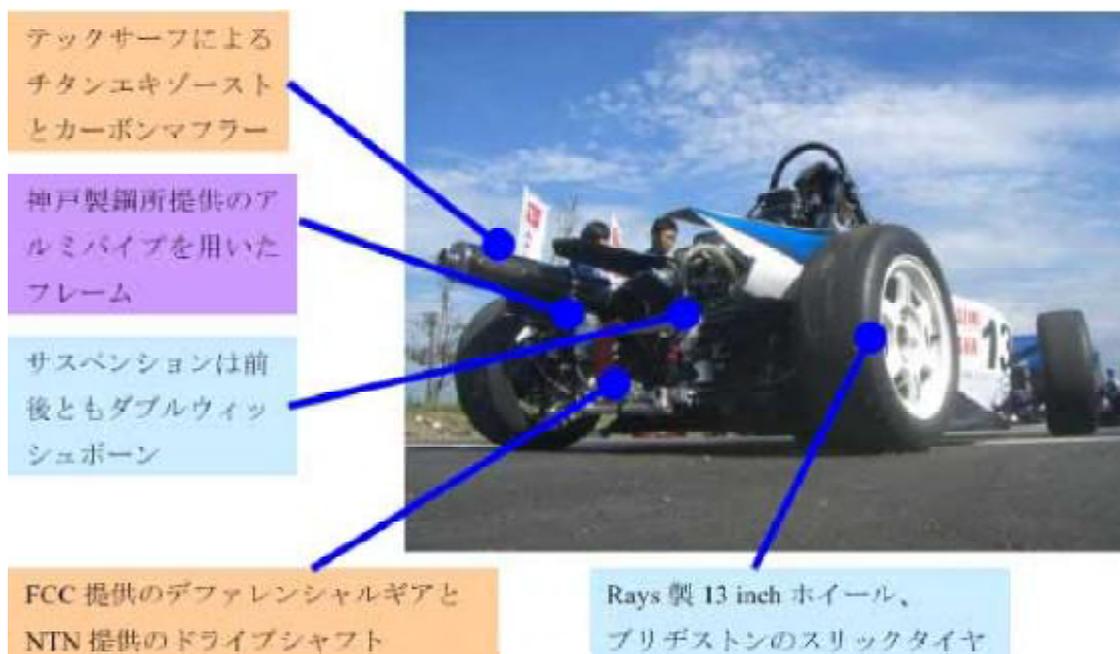
結果的には、各班での見解の相違と干渉がなくなり、各班リーダーによるチェックが隅々まで行き届くようになりました。また、全員で一つのものを作り上げている意識が生まれ、チーム意識が高まったのも間違いのないところでした。しかし、チーム意識と、メンバーの仲がよくなることは決して一致するものではありませんので、その点での区別、プロ意識の保持が難しく、適度な線引きが今後の課題であるとも感じております。

また、今年度は車輛を出来るだけ早く完成し、走行練習とセッティングを十分に行う予定でしたが、結果的に完成が 7 月と大幅に遅れてしまいました。原因はやはりメンバーのモチベーションの低下にあったと考えております。いざ製作に入ってしまうと、やはり製作につきっきりになってしまい、ドライビング練習や走行会へ行く回数が減ってしまいます。したがって、気分転換が出来ず、結果作業効率が低下してしまいました。メンバーの精神的なケアがこれから求められることなのかもしれません。

最後になりましたが、我々に対し一年間にわたりご理解とご協力をいただきました京機会の先輩方に対し、この場を借りまして厚く御礼申し上げます。幾度か京機会に参加させていただいた際にいただきましたご支援と激励によりどれほど心強い思いをしたかわかりません。大学時代という人生にとって重要な時期に、この

ような貴重な体験をさせていただき、我々は本当に幸せであると思います。 本当にありがとうございました。

今年度入賞を果たし、来年度は厳しい一年になると思いますが、新しい体制で、その大きな壁を後輩が力強く乗り越えていってくれると確信しております。 今後とも我々京都大学フォーミュラプロジェクト KART に変わらないご理解とご声援をいただければ幸いに存じます。



来年度活動に向けて

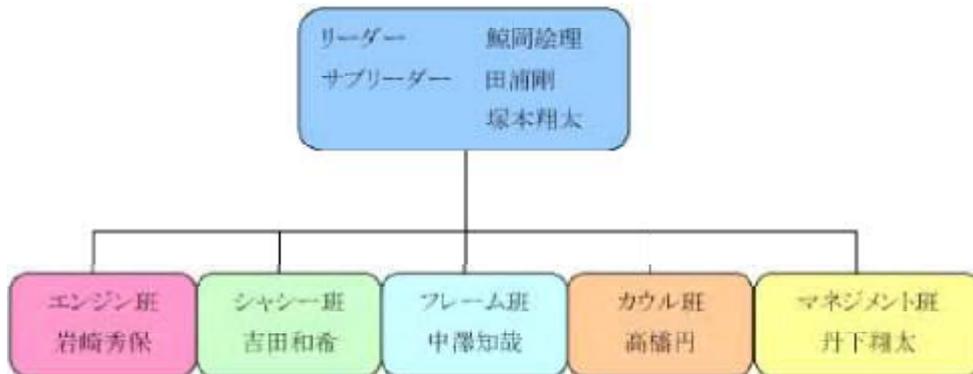
2008 年度京都大学フォーミュラプロジェクト KART のプロジェクトリーダーとなりました鯨岡絵理と申します。



京都大学 KART は 2007 年度の大会で、オートクロス 2 位、ASME-Japan 賞受賞、総合 6 位入賞と、発足からこれまででも華々しい成績を残すことができました。 チームがひとつひとつ積み上げてきた幾年分もの知識と経験、そして 1 年間苦労を重ねた設計、製作、調整の集大成として、ついに手にした一桁の順位。 この強い車両、強いチームへと発展してきた証は私たちに誇りと自信を与えました。

しかしここはまだ満足する境地ではなく、また新たな目標への途上に過ぎませ

ん。 憧れ、追い
かけてきたトップ
チームの背中は
段々と近づいてき
ております。
2008 年度大会で
KART がトップチー
ムに肩を並べて、



表彰台の上位を争うことのできるチームに進化することも決して不可能ではないと確信しております。 そのための目標としまして、昨年度その重要さが分かった車両の早期完成、そして車両の熟成によるレベルアップ、この2点を掲げたいと思います。

本年度の体制は、KART に長く在籍したメンバー達が主要な地位から退く為、全体的に若いメンバー構成となります。 私達がより強い車両を製作していくには、着実な技術やデータの受け継ぎ、車両や運営の見直しなどを通して、今までの評価すべき点を徹底的に生かし、問題点を新しい思考で解決していく事が不可欠であります。 この道のりは決して楽なものではないでしょうが、そのプロセスの中で個人個人の、そしてその結果、チームとしての大きな進化を遂げる事ができる一つのチャンスでもあります。 メンバー一同、勝利への志を胸に、一年間大いに躍進して参りたいと存じます。

KART の活動も、今年ではや 5 年目となりました。 大学で学んだ材料力学や熱力学の理論が、現実と繋がって理解できた瞬間の感動と喜びは非常に大きなものです。 車両の製作を通し、実学として学び直せる、また実地をイメージしながら講義を受ける事により理解を深める事のできる私達は非常に幸せ者だと常々感じております。

毎年多くの京機会の方々から温かいご声援とご支援をいただいております。 本当にありがとうございます。 この場を借りて、厚く御礼申し上げます。 来年度、KART 始まって以来の大きな壁に挑む



新チームに、どのような新しい風が吹くか、ご期待いただければ幸いです。 変わらぬご理解とご協力をいただければ幸いに存じます。