

2004 年度小論文試験問題(2003 年 9 月実施)
Essay Examination for Japan Fiscal Year 2004 (in Sep. 2003)

(社会基盤工学専攻)
(Department of Civil Engineering)

以下の 2 問に対し、それぞれ答えよ。必要に応じて作成した図表などを含め、それぞれ解答用紙 1~2 枚程度に、できるだけ読みやすい字で簡潔に記述する様心掛けること。解答用紙には受験番号と問題番号を明記し、複数の用紙にまたがって解答する場合にはページ番号も記入すること。

Answer both two questions respectively. Try to write your answer in a legible way and describe concisely on approximately one or two answer sheets including figures and tables you may need to prepare. Write your examinee's I. D. number and the question number on the answer sheet, and also add page numbers in case you will use more than one answer sheet.

小論文 Technical Essay

第1問

次の各問いに関して答えよ。

日本の人口は、2005年をピークに減少へと向かう（資料A参照）。人口が減少傾向にある社会では、増加傾向にあったこれまでとは異なる価値観や社会システムが、さまざまな点で現れてくるはずである。

- (1) このような傾向下ではどのような時代の特徴が予想されるか、これから顕著になると考えられる特徴を3点挙げてその理由を簡潔に記述せよ。
- (2) あなたが目指す分野は、そのことについてどのように貢献出来ると考えますか。先に挙げた3点の特徴のひとつを選んで具体的に記述せよ。

以下の点に着目して採点評価する。

- ・内容の的確さ (25%)
- ・文章力 (25%)
- ・思考の独自性 (25%)
- ・問いに対する認識の深さ (25%)

Problem 1

Answer the following questions.

The population of Japan will reach its peak in 2005, and begin to decrease after that, referring to Material A.

In the society with its population decreasing, its social value and system will be different from those of the current society with its population increasing.

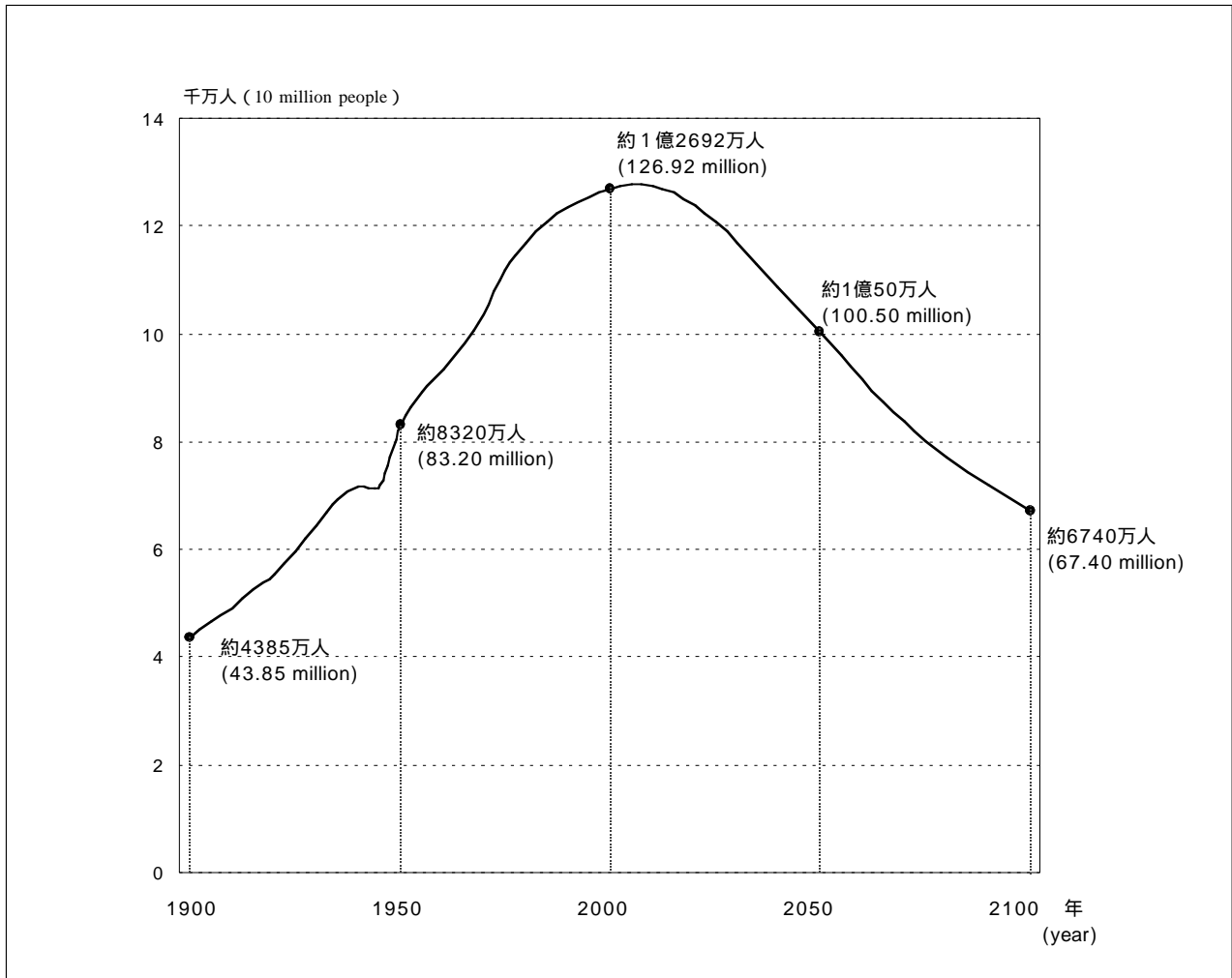
- (1) Examine the characteristics of the society with the change in its population. Point out three social characteristics that are assumed to be apparent, and describe them concisely.
- (2) What can the field you are trying to study contribute to this society with the new social characteristics? Pick one of the three characteristics you pointed out above, and describe it concretely.

This question will be evaluated according to the following points.

- ・ Preciseness in comprehending the issue (25%)
- ・ Writing ability (25%)
- ・ Distinctiveness in analyzing the issue (25%)
- ・ Depth of understanding of the issue (25%)

3資料 A 「日本の人口推移と推計」

Data A “Population growth and future of Japan”



国立社会保障・人口問題研究所の公表データより作成

Source: National Institute of Population and Social Security Research.

第2問

次の各問いに関して答えよ。

添付した資料 B は、ヨーロッパ風力エネルギー協会が発表した風力開発における世界規模の行動計画書の抄録(英文)とその和訳である。この資料に基づき、次の問いに答えよ。

- (1) 経済、環境、資源の観点から風力エネルギーの優れた点を6つ挙げ、なぜ風力発電が今世界で急激に成長しているのかについて論理的に説明せよ。
- (2) 2020年までに世界の電力需要の12%を風力発電で賄うことがなぜ可能なのかを説明し、その根拠を定量的に示せ。
- (3) 12%の目標を達成するために、社会基盤工学が取り組むべき課題を一つ挙げ、それを具体化する方策について自分の考えを述べよ。

Problem 2

Answer the following questions.

The attached Material B is the executive summary of global blueprint for wind power exploitation published by the European Wind Energy Association. Answer the questions below according to the Material.

- (1) Cite six advantages of the wind energy from economic, environmental and resource viewpoints, and explain rationally why wind energy is growing rapidly all over the world.
- (2) Explain why it is possible that wind power provides 12% of the world's electricity demand by 2020, and show the reasons quantitatively.
- (3) Describe one of the issues that civil engineers should tackle with to achieve the target of 12%, and describe your idea on its implementation.

エネルギーは現代の生活に欠かせないものである。我々はエネルギーをより効率的に使用しなければならぬことは明白である。同様に、発展途上国の逼迫したニーズを満たすためには、もっと多くのエネルギーを必要としていることも疑いない。我々すべてが直面する問題は、気候変動という差し迫った脅威への取り組みであると同時に、増大するエネルギー需要をどう賄うかへの挑戦である。本報告書は、その挑戦として風力エネルギーが果たすことのできる重要な役割を強調している。

この調査の目的は、2020 年までに世界の電力需要の 12%まで風力発電を普及させることができるかどうかを評価することである。その評価プロセスでは、技術・経済・資源の密接な関係が検討されている。

この調査で取り上げた項目は、以下のものである：

- 世界の風力資源と、その地理的分布の評価
- 要求される発電量のレベルと、その送電網での適合可能性
- 風力エネルギー市場の現状と、その潜在的成長率
- 風力エネルギー技術と、そのコスト面の分析
- 「習熟曲線理論」を用いた他の新興技術との比較

これは 1999 年に発表されたそれまでの研究成果の最新版である。以前のものと同じく、予想ではなくフィジビリティ・スタディー(可能性調査)であり、それが実現されるかどうかは世界の各国政府が行なう政策決定に左右される。

風力発電の世界的状況

最初の「ウィンド・フォース 10」が発表されてから、風力発電は世界の最も急成長しているエネルギー源としての地位を維持してきた。設置容量は 30%を超える年率で増え続けている。2001 年の 1 年間で新規に 6,800MW が電力送電網に追加された。

2002 年初めまでに、世界の風力エネルギー設置容量は 25,000MW に達している。これは 1,400

万世帯、3,500 万人以上のニーズを満たすのに十分な電力を供給する。ヨーロッパはこの容量の 70%を占めているが、他の地域も重要な市場として現れ始めている。現在、世界の風力発電容量合計には 45 カ国以上が寄与しているが、その産業に従事している人の数は、70,000 人前後になると推定されている。

風力エネルギーの発展の背景にある推進力は、世界的な気候変動に立ち向かう、緊急かつますます高まる必要性に由来している。大半の国は、現在、環境のカタストロフィーを防ぐために、温室効果ガスの排出が徹底的に削減されなければならないということを認めている。風力エネルギーは主な温室効果ガスである二酸化炭素の排出を完全に防ぐ動力源を提供するだけでなく、化石燃料や原子力による発電に関係した汚染物質をいっさい作り出さない。風力発電は、産業規模の電力を送電網に供給することができる。

1997 年の京都議定書から始まった一連の温室効果ガス削減目標は、大陸地域や国レベルにまで下りてきた。これは、風力を含む再生可能なエネルギーの割合を増やす目標として読み替えられてきている。

この目標を達成するために、ヨーロッパやその他の国々はいろいろな市場支援メカニズムを採用してきた。単位出力当たりの優遇価格を支払うメカニズムや、再生可能エネルギーの電力供給割合をより高めることを義務づけたより複雑なメカニズムなど広範囲に及んでいる。

市場が大きくなるにつれて風力エネルギーは

コスト面で劇的な低下を示している。風力エネルギーの 1 キロワット時 (kWh) の生産コストは 20 年前の 5 分の 1 である。風力発電はすでに新しい石炭火力発電と競争しており、地域によってはガス火力発電に挑戦している。現在最大の商業的風車の容量は 2,500kW に達しており、個々の発電風車の容量も増大している。

急に景気づいた風力エネルギー業界に対して、銀行業界や投資市場も真剣に注目し、石油会社のような会社も新規に市場参入している。

風力発電での象徴的な“サクセス・ストーリー”は、ヨーロッパではドイツ・スペイン・デンマーク、アメリカ大陸ではアメリカ合衆国、発展途上の国々の中ではインドで、事例を見出すことができる。北ヨーロッパ周辺の海で提案された 20,000MW 以上のウインドファームのように、新しい市場区域が沖合の海上で出現している。

世界の風力資源と電力需要

世界の風力資源は無尽蔵でほぼ全ての地域や国にうまく分配されていることが確認されている。技術的に利用可能な全風力資源は、年間 53,000TWh になると見積もられている。これは 2020 年において推定された全世界の電力需要の 2 倍以上に当たる。それゆえ、風資源の不足は風力発電を行う上で制限要因にはなり得ない。

風力発電の詳細な見積りを特定の国について行くと、その研究結果は広範な地域について行った場合よりも、はるかに高い可能性が得られる傾向にある。例えば、ドイツの経済省は、OECD(経済協力開発機構)各国の 1993 年の研究で示されたよりも 5 倍も高い可能性を示した。ヨーロッパでは、2020 年までの電力需要の少なくとも 20% を供給することができる可能性が十二分にある。これは、新しく広まるオフショア風車市場を考慮に入れた場合にはなおさらである。

将来の電力需要は、IEA(国際エネルギー機関)が定期的に見積もっている。IEA の 2000 年世界エネルギー展望 (World Energy Outlook) は、

「Business as Usual (通常業務)」シナリオの下で 2020 年までに世界の需要は 25,800TWh に達するであろうことを示している。風力エネルギーだけで世界の電力消費の 12%をまかなうためには、2020 年までに年間 3,000TWh 程度の発電量が必要になりそうである。

増加している風力電力を送電網に連系することには本質的な障害はない。デンマークの西部地域では風の強い時期には、ピークレベルの 50%まで風力発電による電力を問題なく制御し、利用できている。したがって、このシナリオで採用されている 20%という風力発電の連系限界は、慎重な仮定であり、実際は容易に達成可能な値である。

風力エネルギーから世界の電力の 12%を

したがって、最近の動向に基づく 2002 年から 2007 年までの期間における年間平均 25%という新規設備の導入率で風力発電が成長すると期待することは可能である。これは調査期間内で最大の導入率である。2007 年の終わりまでには、総計で 120,600MW の運転容量となる。

2008 年から 2012 年までにおいて、年間導入率は 20%まで低下し、2012 年での風力発電設備容量は 352,241MW になっている。それ以後、年間導入率は 15%に、そして 2016 年には 10%にまで低下する。しかし、この頃までには、風力発電市場の拡大は高水準の年間導入率を記録することになる。

2020 年からの年間設置率は 150,000MW で、横ばいである。これは、2030~40 年までに風力エネルギーの世界総計が 3,000GW 程度になることを意味し、その時、世界の電力消費の 20%を発電していることになる。

「12%シナリオ」は、世界の諸地域で分析されている。OECD 諸国は、このシナリオを実行するためのリーダーシップを期待されている。特にヨーロッパや北米がそうであり、ほかに中国のような他の地域も、大きな貢献をするだろう。

このシナリオの基礎となっている要素や条件

の選択は、風力エネルギー産業と他のエネルギー産業の両方での歴史的な経験に基づいている。主な前提は以下のものである。

年間成長率：重量機械産業にとっては20～25%の成長率は高い値であるが、風力産業は産業の初期段階においてこれよりずっと高い値を経験している。風車の年間設置成長率の平均は過去5年にわたり40%に届こうとしている。シナリオでの成長率は2013年以後には15%に、そして2016年には10%にまで低下することになっている。ヨーロッパでは、オフショア風力の市場の開始が重要となるであろう。産業界からの主張では、発展途上国に台頭する市場を形成するためには、安定した政治的な枠組みを作る必要があるとされている。

価格低下率：産業の習熟曲線理論は、生産単位数が倍になるとコストは約20%減少することを示している。この調査で想定している進捗率は、2010年までは0.85であるが、その後0.90になり、2026年には1.0となり、コストダウンはなくなるとしている。

風車サイズの増加：設置された新しいタービンの平均的な大きさは、現在の1,000kW（1MW）から2007年の1.3MW、2012年の1.5MWまで、今から10年にわたって大きくなると予想されている。風車のサイズが大きくなれば、必要となる台数は減らすことができる。

他のエネルギー技術との比較：原子力エネルギーや大規模の水力発電は比較的短期間で商用レベルに達したエネルギー技術である。現在、原子力は世界で16%の段階に達しており、大規模水力発電は19%に達している。風力エネルギーは今日、主流になることが可能な発電産業である。12%シナリオの時間軸（タイム・ホライズン）は、これら二つの技術の歴史的発展と一致している。

2020年までに12%を風力エネルギーで投資、コスト、そして雇用

上記のように風力エネルギーの発展を達成す

るために必要とされる年間投資額は、2001年の52億USドルに始まり、2020年までに最高の670億USドルまで増大する。2020年までに1,200GWのレベルに達するのに必要とされる投資の2020年までの総計は、6286億USドルと見積もられている。これはとても大きな数字であるが、1990年代のエネルギー分野における年間投資額の1700～2000億USドルに匹敵するものである。世界的に必要とされる将来の投資額も地域に基づき分析されている。

風力発電の単位当たりのコストは、機器製造コストや他のコストが減少してきたように、すでに劇的に減少している。この調査は、最適な条件下で、2001年時点での最先端技術水準の風車は、定格出力ベースでkW当たり765USドルの設置コスト、また3.61USセント/kWhの発電単価を基礎としている。

これまで述べた今後予想される風力の拡大と風車の平均サイズと容量における改良を考慮すると、設備容量のkWh当たりの風力発電コストは、設備コストをkW当たり555USドルと仮定して、2010年までに2.62USセントに下がると期待される。2020年までにはkW当たり447USドルの設置コストの下で、kWh当たり2.11USセントに下がると予想される。今日と較べ41%の実質的な減少である。

風力エネルギーは他のエネルギーと比較すると、コスト的にはますます魅力的になるに違いない。

「12%の風力エネルギーシナリオ」の雇用効果は、他のコストや利益と並んで考察する上で必須の要因である。2020年までには世界中でその産業に関係する製造、設置、その他の仕事で、全体では14億7500万人日分の仕事が生み出されているだろう。この総計も、世界の地域ごとに5年きざみで分析されている。

2020年までに12%を風力エネルギーで環境面における利益

世界の大気に放たれている二酸化炭素の量の

削減が風力発電の最も重要な環境における利益である。二酸化炭素は温室効果を増加させるのに大きな原因を持つ気体であり、世界の気候変動を破滅的な結果へと導くものである。

風力発電に切り替えることにより省かれる二酸化炭素の平均的な価値が GWh 当たり 600 トンであるという想定に基づくと、このシナリオの下での年間の削減量は 2020 年までに二酸化炭素 18 億 5600 万トン、2040 年までには 48 億トンにな

るだろう。累積削減量は 2020 年までに二酸化炭素 117 億 6800 万トン、2040 年までには 864 億 6900 万トンになるだろう。

発電用燃料に起因する環境負荷へ対応するための外部コストを金額に換算すると、風力は価格低下によりますます有利になるが、他の燃料による発電コストは実質的には上がっていくはずである。

Material B

Energy is essential to modern life. There is no doubt that we can and must use it more efficiently, but there is equally no doubt that the developing world will need more energy to address very pressing needs. The challenge which faces all of us is how to meet this growing demand for energy while at the same time addressing the equally threat of climate change. This report highlights the significant role that wind energy can play in that challenge.

The aim of this study is to assess whether it is feasible for wind power to achieve a penetration equal to 12% of global electricity demand by 2020. In the process, a number of technical, economic and resource implications have had to be examined.

The main inputs to this study have been:

- An assessment of the world's wind resources and their geographical distribution.
- The level of electricity output required and whether this can be accommodated in the grid system.
- The current status of the wind energy market and its potential growth rate.
- Analysis of wind energy technology and its cost profile.
- A comparison with other emerging technologies using "learning curve theory".

This is an update of a previous study published in 1999. Like its predecessor it is not a forecast but a feasibility study whose implementation will depend on decisions taken by governments around the world.

The Global Status of Wind Power

Since the original Wind Force 10 report was published, wind power has maintained its status as the world's fastest growing energy source. Installed capacity has continued to grow at an annual rate in excess of 30%.

During 2001 alone, close to 6,800 MW of new capacity was added to the electricity grid.

By the beginning of 2002, global wind power installations had reached 25,000 MW. This provides enough power to satisfy the needs of around 14 million households, more than 35 million people. Although Europe accounts for 70% of this capacity, other regions are beginning to emerge as substantial markets. Over 45 countries around the world now contribute to the global total, whilst the number of people employed by the industry is estimated to be around 70,000.

The impetus behind wind power expansion has come increasingly from the urgent need to combat global climate change. Most countries now accept that greenhouse gas emissions must be drastically slashed in order to avoid environmental catastrophe. Wind energy offers both a power source which completely avoids the emission of carbon dioxide, the main greenhouse gas, but also produces none of the other pollutants associated with either fossil fuel or nuclear generation. Wind power can deliver industrial scale on-grid capacity.

Starting from the 1997 Kyoto Protocol, a series of greenhouse gas reduction targets has cascaded down to a regional and national level. These in turn have been translated into targets for increasing the proportion of renewable energy, including wind.

In order to achieve these targets, countries in both Europe and elsewhere have adopted a variety of market support mechanisms. These range from premium payments per unit of output to more complex mechanisms based on an obligation on power suppliers to source a rising percentage of their supply from renewables.

As the market has grown, wind power has shown a dramatic fall in cost. The production cost of a kilowatt hour of wind power is one fifth of what it was 20 years ago. Wind is already competitive with new coal-fired plants and in some locations can challenge gas. Individual wind turbines have also increased in capacity, with the largest commercial machine now reaching 2,500 kW.

The booming wind energy business has attracted the serious attention of the banking and investment market, with new players such as oil companies entering the market.

Important "success stories" for wind energy can be seen in the experiences of Germany, Spain and Denmark in Europe, the United States in the Americas and India among the countries of the developing world. A new market sector is about to emerge offshore, with more than 20,000 MW of wind farms proposed in the seas around Northern Europe.

The World's Wind Resources and Demand for Electricity

A number of assessments confirm that the world's wind resources are extremely large and well distributed across almost all regions and countries. The total available resource that is technically recoverable is estimated to be 53,000 Terawatt hours (TWh)/year. This is over twice as large as the projection for the world's

entire electricity demand in 2020. Lack of resource is therefore unlikely ever to be a limiting factor in the utilization of wind power for electricity generation.

When more detailed assessments are carried out for a specific country, they also tend to reveal a much higher potential for wind power than a general study suggests. In Germany, for example, the Ministry of Economic Affairs has shown that the potential is five times higher than indicated in a 1993 study of OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) countries. Across Europe there is ample potential to meet at least 20% of electricity demand by 2020, especially if the new offshore market is taken into account.

Future electricity demand is assessed regularly by IEA (the International Energy Agency). The IEA's 2000 World Energy Outlook shows that by 2020, under a "Business as Usual" scenario, world demand will reach 25,800 TWh. For wind power to meet 12% of global consumption it will therefore need to generate an output in the range of 3,000 TWh/year by 2020.

There are no substantial obstacles to the integration of these increased quantities of wind power into the electricity grid. In Denmark, peak levels of up to 50% have been managed in the western part of the country during very windy periods. The cautious assumption adopted here is that a 20% penetration limit is easily attainable.

12% of the World's Electricity from Wind Energy

On the basis of recent trends, it is feasible that wind power can be expected to grow at an average rate for new annual installations of

25% per annum during the period 2002 to 2007. This is the highest growth rate during the period of the study, ending up with a total of 120,600 MW on line by the end of 2007.

From 2008 to 2012, the growth rate falls to 20% per annum, resulting in 352,241 MW of installed capacity by 2012. After that the annual growth rate falls to 15%, and then to 10% in 2016, although by this time the expansion of wind power will be taking place at a high level of annual installation.

From 2020 onwards the annual installation rate will level out at 150,000 MW per annum. This will mean that by 2030-40, wind energy's global total will have reached roughly 3,000 GW, which by then will represent about 20% of the world's consumption.

The 12% scenario has also been broken down by regions of the world. The OECD countries are expected to take the lead in implementation, especially Europe and North America, but other regions such as China will also make a major contribution.

The choice of parameters and assumptions underlying this scenario has been based on historical experience from both the wind energy industry and from other energy technologies. The main assumptions were:

ANNUAL GROWTH RATES: Growth rates of 20-25% are high for an industry manufacturing heavy equipment, but the wind industry has experienced far higher rates during its initial phase of industrialization. Over the last 5 years average annual growth rates of turbines installed have been close to 40%. After 2013, the scenario growth rate falls to 15% and then to 10% in 2016. In Europe an important factor will be the opening up of the offshore wind market. As far as developing

countries are concerned, a clear message from the industry is that it would like to see a stable political framework established in emerging markets if this expansion is to be achieved.

PROGRESS RATIOS: Industrial learning curve theory suggests that costs decrease by some 20% each time the number of units produced doubles. The progress ratios assumed in this study start at 0.85 up until 2010. After that the ratio is reduced to 0.90 and then to 1.0 in 2026.

GROWTH OF WIND TURBINE SIZE: The average size of new turbine being installed is expected to grow over the next decade from today's figure of 1,000 kW (1 MW) to 1.3 MW in 2007 and 1.5 MW in 2012. Larger turbine sizes reduce the number of machines required.

COMPARISONS WITH OTHER TECHNOLOGIES: Both nuclear power and large scale hydro are energy technologies, which have achieved substantial levels of penetration in a relatively short timescale. Nuclear has now reached a level of 16% globally and large hydro 19%. Wind energy is today a commercial industry, which is capable of becoming a mainstream power producer. The time horizon of the 12% scenario is therefore consistent with the historical development of these two technologies.

12% Wind Energy by 2020 - Investment, Costs and Employment

The annual investment required to achieve the deployment of wind energy outlined above starts at \$5.2 billion in 2001 and increases to a peak of \$67 billion by 2020. The total investment needed to reach a level of 1,200 GW by 2020 is estimated at \$628.6 billion over the whole period. This is a very large figure, but it

can be compared with the annual investment in the power sector during the 1990s of \$170-200 billion. The future investment required globally has also been broken down on a regional basis.

The cost per unit of wind-powered electricity has already reduced dramatically as manufacturing and other costs have fallen. This study starts with the basis that a "state of the art" wind turbine in 2001 in the most optimal conditions has an investment cost of \$765 per installed kW and a unit price for its output of 3.61 US cents/kWh.

Using the progress assumptions already discussed, and taking into account improvements both in the average size of turbines and in their capacity factor, the cost per kilowatt hour of installed wind capacity is expected to have fallen to 2.62 US cents/kWh by 2010, assuming a cost per installed kilowatt of \$555. By 2020 it is expected to have reduced to 2.11 US cents/kWh, with an installation cost of \$447/kW by 2020 - a substantial reduction of 41% compared with today.

Wind energy costs are also expected to look increasingly attractive when compared with other power technologies.

The employment effect of the 12% wind energy scenario is a crucial factor to weigh alongside its other costs and benefits. A total of

1,475 million jobs will have been created around the world by 2020 in manufacture, installation and other work associated with the industry. This total is also broken down by region of the world at five yearly intervals.

12% Wind Energy by 2020 - The Environmental Benefits

A reduction in the levels of carbon dioxide being emitted into the world's atmosphere is the most important environmental benefit from wind power generation. Carbon dioxide is the gas largely responsible for exacerbating the greenhouse effect, leading to the disastrous consequences of global climate change.

On the assumption that the average value for carbon dioxide saved by switching to wind power is 600 tonnes per GWh, the annual saving under this scenario will be 1,856 million tonnes of CO₂ by 2020 and 4,800 million tonnes by 2040. The cumulative savings would be 11,768 million tonnes of CO₂ by 2020 and 86,469 million tonnes by 2040.

If the external costs, including environmental damage, caused by different fuels used for electricity generation were given a monetary value, then wind power would either benefit from a reduction in price or the cost of other fuels would increase substantially.