

THE ROLE OF ADVANCED CLEAN COAL TECHNOLOGIES IN EU ENERGY POLICY

Dr Derek M. Taylor
Energy Adviser
Directorate-General for Energy and Transport
European Commission¹

ABSTRACT

The European Union has recently adopted a common approach to energy policy. One of the key drivers of this policy – many believe the key driver – is tackling climate change. EU Member States have decided that they will reduce their greenhouse gas emissions by 20% relative to 1990 levels – and by 30% if other large States would do the same. This presents a major challenge – especially for the electricity generating sector, in particular for coal-fired generation. To meet this challenge efforts are being made to demonstrate that higher efficiencies can be reached in coal-fired plants and that the CO₂ these plant produce can be captured and stored in geological formation. These efforts are being driven by policy changes, putting a price on CO₂ emissions, supporting a wide range of research on different technologies and by encouraging and facilitating greater co-operation, especially between major companies. One key technology development could be advanced ultra-super critical coal-fired plants and the most recent European efforts in this area are described.

INTRODUCTION – INTEGRATION OF ENERGY AND CLIMATE CHANGE

In January 2007, The European Commission adopted an "Energy and Climate Change" package. The Package was centred around a Communication – a policy document – from the Commission to the Member States of the European Union (EU) setting out a European approach to energy policy for the future. A key element of this Strategy – and many believe the key element – was reducing the emissions of Green House Gases.

In the EU, energy production and use accounts for fifty-nine percent of all green house gas emissions. This rises to 80 percent if transport – mainly road transport - is taken into account. In the energy sector, coal burning is by far the largest contributor to emissions from energy. In 2005, coal-based power generation was responsible for around 950 million tonnes of CO₂ emissions in EU-27. This represented 24% of all EU emissions of CO₂².

Across the EU, coal burning accounts for close to one-third of electricity production. In some countries the share of coal in the mix is low, such as in France where the bulk of electricity is produced from nuclear, but in others is very high. In some of the larger Member States, such as Germany and the UK, it comes close to or exceeds 50% while in Poland the share of coal in electricity generation can exceed 90%. Given the high prices of natural gas in the last two years – and some States' decisions to phase out their nuclear generation – the role of coal could become increasingly important.

It is also worth noting that the use of coal adds to the security of European energy supply. The following table gives summary data for the resources, reserves and production of coal in the different EU Member States (in million of tonnes, Mt). Production in 2005 was just over 170 Mt for hard coal and 450Mt for lignite. In all States, present levels of reserves are sufficient to cover production for many decades – and, in several States, even for centuries.

¹ The views expressed in this paper are those of the author and may not necessarily reflect those of the European Commission.

² Worldwide, emissions from coal-fired power generation amounts to approximately 8 billion tonnes of CO₂ every year.

	Hard Coal			Lignite		
	Resources	Reserves	Production	Resources	Reserves	Production
Germany	186000	23000	29,2	77600	41300	181,9
UK	5000	220	25,1			
Spain	4200	600	12,3	80	50	8,2
Greece				6700	3200	71,9
Poland	113000	12113	99,2	31000	2423	61,1
Czech Republic	4123	295	13,3	3873	812	48,8
Hungary	450	198	0,3	9000	3400	11,8
Bulgaria	440	270	3,2	4031	2045	23,7
Romania	8307	810	3,7	2500	1456	31,6

Source: *Euracoal*

On the other hand, the Member States have committed to a reduction in CO₂ emissions of at least 20% below 1990 levels by 2020. Moreover, they have agreed to reduce emissions by 30% by the same date if other major emitters are willing to make similar reductions.

Given the fact that we are very unlikely to reduce – or even restrain – GHG emissions from motor vehicles by 2020, it is vital that we start making inroads into reducing those from burning fossil fuels in heat and energy production. This was the driver behind another policy statement from the Commission as part of its Energy Package – the Communication on Sustainable Fossil Fuels.

In brief, this proposed that we need to aim for all new fossil fuel plants built after 2020 to be equipped with carbon capture and storage (CCS) technology and for plants built before that date to be retrofit with the technology as quickly as possible – probably by 2030.

To be able to do this, we would need to fully develop and demonstrate the technology of CCS by 2015. Given the range of technical, legislative and economic barriers that still needed to be overcome, it was necessary that industry and other stakeholders work together closely with governments throughout the EU on this major challenge.

Fortunately, this close co-operation had already been set up with the establishment, already in 2005, of the "Zero-emission fossil-fuel power plant Technology Platform". This is widely known as the "ZEP".

"ZEP" – THE CO-ORDINATOR

The Zero-emission fossil-fuel plant Technology Platform was set up in 2005 under the European Commission's 6th Framework Research and Demonstration Programme (FP6).

It brought together, to form an Advisory Council, a wide variety of stakeholders including major generators (E.ON, Endesa, Enel, Vattenfall, Energi E2, RWE), equipment suppliers (Ansaldo, ALSTOM, Air Liquide, Foster Wheeler, Doosan Babcock, Siemens), oil and gas companies (BP, Shell, Statoil, Total, Schlumberger), research organisations (BGS, CIRCE, IFP, Polish CMI, GEUS, TU-Hamburg), NGOs (Bellona, E3G, WWF) and, most recently a financier (Morgan Stanley).

The Technology Platform was formally launched on 1 December 2005 and in May 2006 presented its "Vision" of enabling European fossil fuel power plants to have zero emission of CO₂ by 2020.

After launching its vision, the Technology Platform members continued working on finalising two important documents - the Strategic Research Agenda (SRA) and the Strategic Deployment Document (SDD). Both these documents give guidance to the R&D needed to make zero emission fossil fuel power plants an economically viable option. Near final versions of the two documents were presented to, and discussed with all stakeholders at the first General Assembly of the ZEP, which was held on the 12 and 13 September 2006 in Brussels.

Representatives from all stakeholders in the technology area were invited to be present at the General Assembly. The objectives of the assembly were to:

- Review and validate the SRA and the SDD for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants
- Demonstrate motivation and commitment of public and private partners to engage in a strategic partnership to accelerate development and deployment of ZEP-technology
- Help the Technology Platform to monitor its own progress and define the work plan for the next period.

The meeting was a tremendous success with high-level participants from the spheres of research, science and technology, industry and policy-making from all over Europe. It clearly indicated that there was a very broad interest and desire within Europe to drive towards zero-emission technology.

The experts agreed **"that CO₂ capture and storage technology (CCS), together with improved energy conversion efficiency, is a near-term solution to reduce CO₂ emissions from fossil fuel power generation on a massive scale. Its immediate deployment is therefore vital if we are to avoid the catastrophic consequences of climate change we are facing today."**

The experts also noted that "despite most of the technology elements being available, CCS is still not deployed for two key reasons:

1. The cost and risks still outweigh the commercial benefits
2. The regulatory framework for CO₂ storage is not sufficiently defined.

Both documents made a series of key recommendations. The key recommendations in the Strategic Research Agenda are the most relevant here. They were:

1. Urgently implement 10-12 integrated, large-scale CCS demonstration projects Europe-wide
2. Develop new concepts already identified, but not validated, for demonstration by 2010-2015 and implementation beyond 2020 (including "advanced new materials and combustion systems")
3. Supporting long-term exploratory R&D into advanced, innovative concepts for implementation of next generation technology
4. Maximising cooperation at national, European and international level
5. Strengthening and accelerating R&D priorities to support the Strategic Deployment Document, informed by experience from demonstrating projects and parallel R&D projects on advanced, innovative concepts.

The SDD and SRA can be downloaded, together with a wide range of other documentation, from the ZEP website: <http://www.zero-emissionplatform.eu/website/index.html>

Based to a certain extent on the work and vision of the ZEP, and on the clear need and support for progress in the technology, The Commission developed and adopted a Communication with the title "Sustainable power generation from fossil fuels: aiming for near-zero emissions from coal after 2020" (COM(2006) 843 final) as part of the Energy Package in January 2007.

THE COMMUNICATION ON SUSTAINABLE FOSSIL FUELS – THE POLICY

Possibly the key statement in the whole of the Commission's Communication on Sustainable Fossil Fuels is: "If fossil fuels are to continue playing their valuable role in the energy mix, solutions must be found to limit the impact of their use to levels compatible with sustainable climate objectives". Specifically for coal, the Communication stated: "coal can continue to make its valuable contribution to the security of energy supply and the economy of both the EU and the world as a whole only with technologies allowing for drastic reduction of the carbon footprint of its combustion".

The Communication concluded that "The EU therefore needs to develop technological solutions for sustainable use of coal not only to retain coal in the European energy mix but also to ensure that global growth in coal use will be possible without irrevocable damage to the global climate. The urgency of this task stems from the fact that even with sincere and concentrated efforts, the necessary novel technologies may not be ready for commercial deployment on a global scale before 2020. It is therefore vital that the EU starts today to implement policies that will underpin and sustain its global leadership in fighting climate change in the decades to come".

The Communication on sustainable fossil fuels and other elements of the energy and climate change package can be downloaded from the Commission's website: http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/index_en.htm

A first important – indeed vital – step in reducing the CO₂ emission from fossil fuel, in particular coal-fired, power plants is the improvement of the efficiency of these plants. In the EU, the older units have operating efficiencies of around 30% while the more recent ones reach efficiencies of 43% for lignite and 46% for hard coal. "Clean Coal Technologies" have already brought about these increased efficiencies (while substantially mitigating the problems of pollution – acid rain, particulates and dust). However there is still substantial scope for improvements in the energy efficiency of large-sized coal-fired power plants through the continued development of these technologies. The technical limit for efficiency is thought to be above 60% which, if achieved, would bring with it dramatic savings in resource use and very important reductions in the emissions - especially of CO₂. It has been estimated that using best available technology (BAT) and the most energy-efficient conversion technologies in both replacement and new build investment could bring about an initial reduction of 20% in CO₂ emissions from coal-based generation by 2020.

However, efficiency improvements cannot alone result in the reductions of CO₂ in emissions from coal-fired power plants that are necessary to slow down climate change. To achieve this carbon capture and storage (CCS) will be necessary. Near-zero emission power generation from coal needs to become a reality.

For this reason the Commission very strongly supports the "Vision" of the ZEP of enabling European fossil fuel power plants to have zero emissions of CO₂ by 2020. It further strongly endorses the proposal of the major energy companies to build up to 12 large-scale demonstration plants by 2015 that would test the various ways of integrating CCS in coal- and gas-fired power generation. Once commissioned it was expected that these plants would need to be operated for at least five years for the solutions to be thoroughly tested and considered fully demonstrated. Then the solutions could be considered ready for inclusion in zero-emission power plants to meet the target date of 2020.

It is clear that what we would like to see is all fossil-fuel plants that are built after 2020 to be fitted with – and operate – CCS technology. But this will still leave us with the other plants that have not already been fitted with CCS. Presently our total capacity of coal-fired generation is around 190 GWe. Around 70 GWe of this capacity will be retired – and replaced – by 2020. It is imperative to avoid a situation where the new build before 2020 is undertaken in such a way that would preclude or insufficiently guarantee the addition of CCS components after 2020. It would clearly be best if new plant were to be already prepared for later addition of CCS technologies (i.e. "capture ready"). Eventually, all existing plants would either have to be retrofit or closed and replaced by near-zero technology plants. Legislation might be necessary to drive this and the Commission is studying the possible options.

While the main focus of the paper is on the need for and development of technologies for coal-based electricity generation, it will clearly be necessary for governments to produce the right legal and regulatory framework for the technology to be both developed and deployed.

In particular, a regulatory and policy framework is necessary within the EU for CCS that would:

- ensure the environmentally sound, safe and reliable operation of CCS activities;
- remove unwarranted barriers to CCS activities in current legislation;
- provide appropriate incentives proportionate to the CO₂ reduction benefits.

To respond to this need, the Commission is expected to adopt before the end of this year a proposal for amending Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 that established the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. It is expected that this revision should also remove unnecessary legal barriers to the deployment of CCS.

THE EMISSION TRADING SCHEME (ETS) – A MAJOR DRIVER

It is also worth mentioning here the European Emissions Trading Scheme (ETS) as it is expected to be a very important driver for technological innovation in the power and heat sector.

The ETS is a "cap and trade" scheme that targets, initially, CO₂ emissions from large industrial emitters (power plants and energy-intensive industrial sectors such as oil refineries, coke ovens, iron and steel plants and factories

making cement, glass, lime, bricks, ceramics, pulp and paper). National allocation plans are reviewed periodically by the Commission and there is a strong compliance framework. Already around 11 500 installations are covered accounting for around 45% of the EU's total CO₂ emissions.

The first phase of the Scheme will end this year. It has not been without its problems, mainly as a result of over allocations of emissions by a number of Member States which brought about a rather spectacular collapse in the carbon price. The second phase – for which the Commission is in the process of completing the review of, and taken decisions on Member States proposed allocations – will run from 2008-2012. The Commission is planning to adopt a proposal concerning the post-2012 period already before the end of this year. This will take into account the EU targets concerning reducing emissions.

It should be noted here that, while it is a Europe wide market, the ETS allows Member States to obtain a certain number of credits by taking advantage of the Clean Development Mechanism (CDM) and Joint Implementation (JI) projects. In addition the ETS provides possibility of links to similar schemes in other countries.

It is unlikely that the ETS alone will drive the necessary technological development and the introduction of CCS. The significant increases of investment cost for the new technologies together with the significantly higher operating costs, including the possible 10 percentage point loss of efficiency brought about by the carbon capture, and the cost of an infrastructure for transporting the CO₂ will require additional economic incentives. In March 2007 the European Council recommended the setting up of a mechanism to stimulate the construction and operation of the CCS demonstration plants by 2015. The Commission is studying this issue very intensively and hopes to adopt a Communication on the subject later this year.

Taken together with the expected proposals for legislation covering CCS and the revision of the ETS, this should give changes a clear message to industry concerning the longer term framework in which they can operate, take investment decisions and facilitate these decisions being put into effect.

RESEARCH AND DEVELOPMENT 1 – THE "SET" PLAN AND THE FLAGSHIP PROGRAMME

Not only has much of the technology not yet been demonstrated on a large-scale, but quite a lot still needs to be developed. The Commission through a number of different budget lines has supported the development of clean coal technologies for many years and, more recently, CCS – including the funding of the ZEP. Much of this research will continue and, in fact, the support given by the Commission through the 7th Framework Research Programme (covering the period 2007 to 2013) will increase.

The Member States of the EU will also need to show a strong commitment – both political will and funds - to the development and demonstrations of the necessary new technologies in support of industry. Later this year the Commission should adopt a Strategic Energy Technology ("SET") Plan that will provide an instrument for the overall co-ordination of necessary R&D and demonstration efforts.

The main thrust of the SET-Plan will be focus energy research in the EU to address three key policy areas – combating climate change, limiting the EU's vulnerability to imported hydrocarbons and promoting growth and jobs. Its strategic objective will be to reduce greenhouse gas emissions but, because low carbon energy technologies are expensive, we really need to bring down their costs if we are to deploy them to meet our 2020 and 2050 reduction targets. This could lead to an EU with a thriving and sustainable economy, with world leadership in a diverse portfolio of low-carbon energy technologies as a motor for prosperity, growth and jobs.

One important new development is the proposal by the ZEP for a "Flagship Programme". This would bring together all the different demonstration project throughout the EU (and Norway) into a very visible coherent set of projects. It would facilitate the transfer of knowledge between participants and accelerate its take-up. Through the greater visibility that such a programme would have over individual projects, it would improve the ability to communicate widely with the Public all across Europe. By working much closer together it should ensure the more effective use of public funds.

The Flagship approach should help us to validate many different technologies in one programme and that from the different validated technologies companies can choose which they wish to use to best suit their own situation and location. Figure 1 illustrates the different "technology blocks" in the CCS value chain that would be validated through demonstration. Clearly no single demonstration plant could validate all these different varieties of systems and technologies and types of fuels. It should also be realised that companies in different countries work

under different legislative and regulatory regimes. We feel that the European approach is the best way to proceed rather than "putting all our eggs in one basket" and opting already to demonstrate a single generating and capture technology at a single site. Also it is clear that no one company – or even Member States – could carry out or support a demonstration of all the different technologies in the different environments.

RESEARCH AND DEVELOPMENT – 2 ADVANCED ULTRA SUPER CRITICAL (A-USC) TECHNOLOGY

In 1997 the European Commission, as part of its THERMIE programme, awarded a contract (SF/1001/97/DK) to a large group, made up of European utilities and suppliers for the power industry together with some research institutes, in support of a the first phase of a project to demonstrate the potential of improvements of pulverised coal-fired (PF) power plant technology. The UK and Swiss governments also sponsored the activity. The ultimate objective of the project was the construction and operation on an advanced PF demonstration plant operating at super critical steam temperatures in the range of 700-720°C. For this reason the project became known as AD700.

The success of such a project would both improve the competitiveness of coal-fired power generation and reduce CO₂ emissions by around 15% from the best PF power plants (and by 40% for most older plants – particular in parts of Asia).

Two targets were set for the project:

- To boost net efficiency of the demonstration plant from the present peak performance of 47% into the range of 50% - 55% (depending on their source of cooling water)
- To reduce investment costs of PF power plants by revising the overall architecture of the plant.

The project itself was divided into a number of phases.

The first phase (Phase 1) was subdivided into two parts. Part 1A had dual objective. The first was to perform conceptual design studies for the power plant components – especially the turbine, boiler and piping - to demonstrate that design concepts, materials and manufacturing routes necessary for construction of the plant were available. The second was to demonstrate the commercial competitiveness of the plant. Phase 1A was completed successfully by the end of 2000.

Phase 1B of the project was mainly a material development programme, in particular the development of new "super alloys" for the hot areas of the water/steam cycle. These would be necessary to allow operation with steam temperatures in the 700-720°C range (compared with the then 600-620°C range of existing plants). Such super alloys were well-known from their use in the gas turbine and nuclear industries, but their use in PF plants was new. For such use super alloys with a high creep strength, but with relatively low production costs, would need to be developed. Therefore one of the main tasks of this phase was the identification and selection of these special materials and their testing. The work of Phase 1 finished at end of 2004. A great deal of the technical detail are contained in the presentations made at a conference in Milan, Italy in 2005 can be accessed through the project website:

- <https://projectweb.elsam-eng.com/AD700/Milan%20Conference/Forms/AllItems.aspx>.

The second phase of the project (Phase 2) started already in 2002 and was carried out with the support of funding under the European Commission's 5th Framework Programme (under contract ENK5-CT2001-0051). There were 35 partners, many of whom had been involved in Phase 1, and some support was received from the Swiss Government.

One of the main tasks in this phase has been to design, manufacture and test various components. For the boiler an evaporator panel, a super-heater panel and welded thick-walled pipes were examined. Also a very thorough study was made of a horizontal boiler, which had been proposed in Phase 1, as allowing for a very compact design, an advantage given the high cost of the nickel-based alloys pipework. For the turbine, inlet valves, forged rotor, welded rotor, moving blades, stationary blades, bolting and welding of pressure containment parts were all examined.

Also during this phase, efforts were made to establish business plans for a full-scale demonstration plant. While this will only be constructed during Phase 4 of the project, it was important to do a detailed risk assessment and a new check on the feasibility in the light of the most recent material strength values and prices. This showed that the technology was still feasible even at a "moderate" price for CO₂.

Phase 2 of the project was completed at the end of 2006.

It had been planned to establish a large component test facility that could, for example, have included the testing of the high-pressure part of a full-scale 400MW turbine. Unfortunately, it was decided that the Commission's 6th Framework Programme would not support research on clean coal technologies. As a result a more modest test facility, for testing mainly boiler components, was planned for Phase 3.

Phase 3 of the project - the Component Test Facility for AD700 – COMTES700 started in July 2004 and was financed by the EU's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under contract RFC-CP-04003 and the E_{max} Group established by VGB³. The component suppliers Alstom, Hitachi Power Europe, Burmeister and Wain Energy and Siemens also contribute to the financing and VGB is the co-ordinator of the project. The total budget amounts to 15.2 M€, 57% being funded by power producers, 3% by equipment suppliers and 40% by the RFCS programme

The objective of COMTES700 is the detail design, manufacture, erection and operation of a Component Test Facility (CTF) in order to test high temperature resistant materials needed to realise, in the near future, a European 700°C coal based demonstration power plant..

The project, which began on 1 July 2004 and will run until 31 December 2009, is being carried out by a consortium of six major European partners from industry. It is steered by the COMTES700-Partners Consortium which includes ten further European companies.

The testing takes place at E.ON's Scholven F plant in Gelsenkirchen, Germany. The equipment and parts to be tested are mounted into the boiler of the plant. They include an evaporator and a super-heater panel together with the necessary steam lines and valves.

The results of the operation of the CTF will be evaluated by a special working group and used for the optimisation, engineering and design of components for a future 700 °C demonstration coal power plant.

The COMTES700 project is currently at mid-term. The project is proceeding very well and results obtained so far are very promising. By the end of 2006, the CTF had operated successfully for more than 8 000 hours. By the end of the project, the operations will have run for around 20 000 hours. More details can be found on the projects web site: <http://www.comtes700.org>

However, at least one of the companies involved in COMPTES700 will not be waiting for Phase 3 of the AD700 project to be completed before using the technology and test results. E.ON has announced that it will build, in Germany, the world's first large-scale coal-fired power station using entirely new materials. It is planned to finalise the design of this new, 500 MW plant by 2008 and construction would start early in 2010 for commissioning in 2014. With subassemblies and components capable of withstanding steam temperatures of 700°C and pressures of 350 bar, to be demonstrated by COMTES700, efficiencies in excess of 50% are expected. The budget for this project is at least €700 million.

RESEARCH AND DEVELOPMENT 3 - OTHER EUROPEAN RESEARCH ON, OR RELATED TO A-USC TECHNOLOGIES

There are many activities that have – and are – being carried out in Europe that are not directly funded by the European Commission that also contribute greatly to the advancement of the technology for advanced-USC coal-fired power production.

For example, as a forerunner to the COMTES700 rig, a test rig was built into the super-heater area of the boiler of Esbjerg Unit 3 (Denmark). Three different super-heaters were installed – the first already in 1995 and tested at different temperatures (620°C, 635°C and 700°C) for different periods (of up to 7 years). These tests showed that more studies needed to be carried out on the material properties, especially the high temperature corrosion rates on

³ The E_{max} group includes E.ON, RWE, Vattenfall Europe, EDF, Electrabel, PPC, Vattenfall Nordic and DONG Energy Generation.

the flu gas side and the oxidation behaviour on the steam side (Chen et al⁴, 2005). A new super-heater has been installed and is now being tested at 720°C and will be operated for 4 years. The work here is funded by the E_{max} Group.

A full-scale (4 tonne) turbine control valve is included in the CTF at the Scholven plant in a separate R&D project from the publicly-funded CONTES700 project. This valve was chosen because it is the most critical component of a 700°C turbo-generating set. The project is funded by European generating companies and two suppliers (Alstom and Siemens). The text operation is planned for completion in June 2009.

As part of the "CO₂-Reduction-Technologies for fossil fuelled power plants" (COORETEC) which was set up by the German Ministry of Economics and Technology (BMWi) there are a number of ongoing studies on the materials that could be used in the new power plants. The R&D concept, the structure and membership of the four working groups and the roadmap for the power plant concepts (both with and without carbon-capture- are described in detail in the BMWi's Document N° 527 and on a dedicated website: <http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1365>. Funding comes from the German Ministry together with participating companies (mainly power plant operators and suppliers). The BMWi also supports the MARCKO 700 project for testing of a number of materials for the 700/720°C power plant to be used in pressure vessel construction

Other material qualifications programmes for the future 700-720°C power plants are being carried out in Europe under different "COST" projects. The "European Co-operation in the field of scientific and technical research" is an intergovernmental European framework and networking system for research established in 1971. The EU's Framework Programme supports the secretariat, though not the research itself. For example, COST 536 ACCEPT ("Alloy Development for Critical Components of Environmentally Friendly Power Plants") was an action to develop new (ferritic) high temperature steels with improved creep and oxidation properties which involved 17 European partners. COST 538 groups partners working on the development of methods and tools to facilitate high temperature power plant lifetime extension.

The UK's former Department of Trade and Industry (DTI) – now Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform (BERR) – is running a Cleaner Fossil Fuel Programme which includes a major project on advanced materials for low emission power plants which includes steam oxidation behaviour of materials under ultra-supercritical conditions as well as activities on alloy development for critical components as a contribution to COST 536 (see above).

Finally, there is the pre-engineering project "NRW Power Plant 700°C" (NRWPP700) which brings together 10 European companies (5 from Germany, 2 from Denmark and one each from Austria, Belgium and France)⁵. These companies will produce a joint pre-engineering study with the conventional plant engineering and the overall power plant concept planned by the specialist departments of the operators. The innovative features – steam generators, steam turbines and other critical components subject to high temperature – are to be handled by the specialist companies with relevant know-how in the field of high-temperature engineering.

The study is being done in three stages: planning of a 700°C demonstration plant fired by hard coal with an output of approximately 500MW; transfer of technical and economic findings to a commercial 700°C hard coal facility with an output of approximately 1 000 MW; transfer of technical and economic findings to a commercial 700°C brown coal facility with an output of approximately 1 000 MW. The project – which can be regarded as Phase 4 of AD 700) is funded by the German federal state North Rhine-Westphalia and co-funded by the European Commission through the European Regional Development Fund.

CONCLUSION

The above can do little more than give a flavour of the importance that Europe puts on further developing clean coal technologies. It is clear to all that if coal is to have a future in electricity production in Europe it will need to

⁴ Q. Chen, G. Stamatelopoulos, A. Helmrich, S. Kjaer and C. Stolzenberger: *Investigations on oxidation and corrosion characteristics of the advanced boiler materials at steam temperatures up to 720 °C*, 1st International Conference on Super-High Strength Steels, 2-4 November 2005, Rome, Italy, Associazione Italiana di Metallurgia

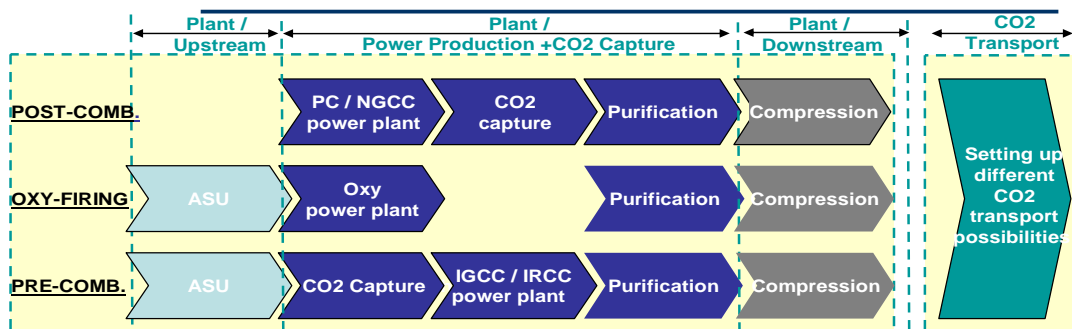
⁵ The group includes: DONG Energy Generation; E.ON Energie; Electrabel; EdF; EnBW Kraftwerke; EVN; RWE Power; STEAG; Vattenfall A/S Nordic Generation; Vattenfall Europe Mining & Generation.

be used much more efficiently – and emit ever decreasing quantities of CO₂ – in the future. All those companies that depend heavily on the future of coal-fired generation, in particular the plant operators and suppliers are working closely together both with and without public funding in a race against time. They clearly believe that Advanced Ultra-super critical coal-fired plants have a potentially big future. However, this is far from being the only technology that is being researched and likely to be demonstrated soon. It would have been equally instructive to describe all the research efforts and projects that are going on around the development of Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) technology and the plans to build a 450 MW power plant – with CO₂ storage – also by 2014.

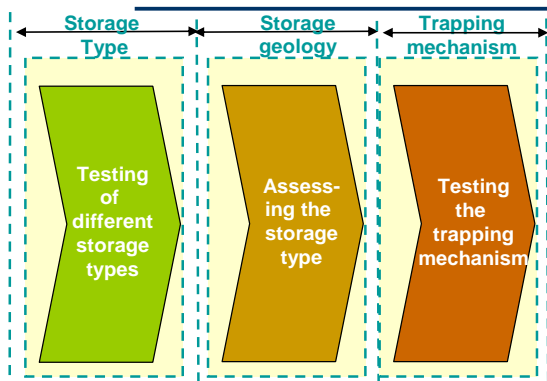
We will not rely on any one, single technology for producing electricity from our abundant coal resources. We will continue with our research into and demonstration of a number of technologies and variation on technologies. Some will be successful – other, possibly, less so. But what is vital is that we do succeed – the future of our energy sector depends upon it.

Figure 1 – Technology Blocks to be demonstrated through the Flagship Programme

(Source: Zero-emission fossil-fuel power plant Technology Platform)



- Large scale (10 000 T/day) Air separation to provide pure O₂ (>95%) to the boiler / gasifier
- Validate Integration possibilities of ASU in Power Plant
- POST-COMB: Amine, Ammonia, others, process development for new plants & retrofits
- OXY-FIRING: Oxy-PC (different burners + several O₂ premix technology, Oxy-CFB)
- PRE-COMB: NG reforming, gasifier (quench cooling, radiant cooling) CO shift, H₂/CO₂ separation, GT H₂ combustion technologies, cycle optimization
- ALL: Efficiency increase of boiler, turbomachinery & CC definition
- CO₂ Purification
 - SOX
 - NOX
 - PM
 - Mercury
 - H₂O Condensation
 - Inerts removal
 - Drying
 - Water treatment
- High pressure/ Large scale CO₂ compression (100-150 bars)
- CO₂ compression integration
- CO₂ preparation for transport
- Transport to the storage site
 - Land pipeline
 - Sea pipeline
 - Shipping
- Re-compression as required



- Storage of CO₂ in
 - Saline aquifers
 - Exhausted petroleum structures
 - EGR/EOR
 - CBM/ECBM
- Assessment of type
 - Type of cap rock
 - Reservoir quality
 - Volume
 - Overall properties
 - Etc.
- Trapping mechanisms
 - Single phase gravitational
 - Dissolution
 - Residual
 - Mineral
 - Over different time scales

TECHNOLOGY BLOCKS : Components and integration in value chains to be validated for full size industrial use with several fuels: COAL, LIGNITE, PETCOKE, NATURAL GAS, BIOMASS, etc.

EU エネルギー政策における先進クリーン・コール・テクノロジーの役割

Dr Derek M. Taylor
 エネルギーアドバイザー
 運輸エネルギー総局
 欧州委員会⁶

概要

欧州連合は先ごろ共通のエネルギー政策方針を採択した。この政策方針の基本的動機の 1 つは（これを最大の動機と考える人も多いが）気候変動への対処である。EU 加盟国は温室効果ガス排出量を 1990 年の水準から 20%削減することを決定しており、さらに他の大国も同等の削減を行うのであれば 30%の削減を約束している。これは困難な課題であり、とりわけ発電部門、それも石炭火力発電にとって厳しい試練である。この課題に立ち向かうため、石炭火力発電所でも高効率が達成可能であることや石炭火力発電所から発生する CO₂ を回収し地層内に貯留することが可能であることを実証する努力が行われている。この努力を支えているのは政策の変換であり、政策の変換に応じて CO₂ 排出量に値がつけられ、多様な技術に関する広範な研究に支援が提供され、大企業を中心とした相互協力が奨励促進されるようになった。重要な技術開発の 1 つに挙げられるものに先進超々臨界圧石炭火力発電所があり、以下ではこの分野における欧州の最近の活動を説明する。

はじめに エネルギーの統合と気候変動

2007 年 1 月、欧州委員会は「エネルギーと気候変動」政策を採択した。この政策を集約したのが、欧州委員会が EU 加盟国に対して欧州の今後のエネルギー政策方針を示した「伝達文書」（政策文書）である。政策の基本的動機の 1 つは（これを最大の基本的動機と考える人も多いが）、温室効果ガス排出量の削減である。

EU では温室効果ガス排出量全体の 59%をエネルギーの生産および消費が占めている。さらに輸送（主に道路輸送）をそれに含めれば、パーセンテージは 80%にまで上がる。エネルギー部門の中では、エネルギーからのガス排出に圧倒的に寄与しているのが石炭燃焼である。2005 年における EU27 カ国の CO₂ 排出量のうちおよそ 9 億 5000 万トンが石炭火力発電によるものであった。これは EU の CO₂ 排出量全体の 24%に相当する⁷。

EU 全体で考えると、発電の 1/3 近くを石炭燃焼でまかなっている。国によってはエネルギーミックスにおける石炭のシェアが低く、たとえばフランスなどは電力の多くを原子力で生産している一方、石炭シェアが非常に高い国もある。EU 加盟の大国の中には、たとえばドイツと英国のように発電における石炭シェアが 50%に近い、あるいはそれを超えている国もあり、またポーランドにおいては 90%超である。直近 2 年の天然ガス価格の高騰（および一部の国による原子力発電の中止決定）により、石炭が持つ役割は今後さらに重要性を増す可能性がある。

さらに見逃してならないのは、石炭の利用が欧州におけるエネルギー供給の保障に寄与している点である。下表は EU 加盟各国の石炭の資源量、埋蔵量、生産量をまとめたものである（単位：100 万トン [Mt]）。2005 年の生産量は、ハードコールが 1 億 7000 万トン強、褐炭が 4 億 5000 万トンである。いずれの加盟国も、現在の埋蔵量は何十年もの生産をまかなうのに十分な水準にあり、いくつかの国では数世紀の生産に足りる水準にある。

⁶ 本書中で表明している見解は著者のものであり、必ずしも欧州委員会の見解を反映しているわけではない。

⁷ 全世界では、石炭火力発電による CO₂ 排出量は年間およそ 80 億トンである。

	ハードコール			褐炭		
	資源量	埋蔵量	生産量	資源量	埋蔵量	生産量
ドイツ	186000	23000	29,2	77600	41300	181,9
英国	5000	220	25,1			
スペイン	4200	600	12,3	80	50	8,2
ギリシャ				6700	3200	71,9
ポーランド	113000	12113	99,2	31000	2423	61,1
チェコ共和国	4123	295	13,3	3873	812	48,8
ハンガリー	450	198	0,3	9000	3400	11,8
ブルガリア	440	270	3,2	4031	2045	23,7
ルーマニア	8307	810	3,7	2500	1456	31,6

出典：Eurocoal

その一方で、EU加盟国はCO₂排出量を2020年までに1990年水準から少なくとも20%削減することを公約している。そればかりか、他の主要排出国が同等の削減を行うのであれば、同じく2020年までに30%削減することに同意している。

2020年までに自動車からの温室効果ガス排出量を削減できる可能性、あるいはその増加を抑制できる可能性さえもほとんどないという事実を考えれば、まずは熱およびエネルギー生産における化石燃料の燃焼で生じる温室効果ガスの削減に取り組まざるを得ないのは必然である。この点を踏まえて生まれたのが、欧州委員会がエネルギー政策の一部として発表したもう1つの政策声明、すなわち「持続可能な化石燃料に関する伝達文書」である。

この声明の提案を要約すると、2020年以降に新設する化石燃料発電所のすべてに炭素回収貯留(CCS)技術を装備し、それ以前に建造された発電所についてはできる限りすみやかに（できれば2030年までに）改造し、同技術を装備するように取り組む必要があるということである。

それを可能にするためには、CCS技術の十分な開発および実証を2015年までに完了することが必要である。そして技術面、法律面、経済面で克服すべきさまざまな障壁があるため、この困難な課題に対し企業およびその他の利害関係者がEU全域で各国政府と密接に協力することが必要である。

幸いなことにそうした密接な協力関係は、2005年の「ゼロエミッション化石燃料発電所技術プラットフォーム」の決定によってすでに確立されていた。このプラットフォームは一般に「ZEP」と呼ばれている。

「ZEP」調整役

ゼロエミッション化石燃料発電所技術プラットフォームは、欧州委員会の第6次研究技術開発枠組み計画(FP6)に基づき2005年に設立されている。

このプラットフォームには多様な利害関係者から成る諮問委員会が設けられており、この委員会に参加している利害関係者は、大手発電企業(E.ON、Endesa、Enel、Vattenfall、Energi E2、RWE)、設備サプライヤー(Ansaldo、ALSTOM、Air Liquide、Foster Wheeler、Doosan Babcock、Siemens)、石油および天然ガス会社(BP、Shell、Statoil、Total、Schlumberger)、研究機関(BGS、CIRCE、IFP、Polish CMI、GEUS、TU-Hamburg)、NGO団体(Bellona、E3G、WWF)、そして、ごく最近参加した金融機関(Morgan Stanley)などである。

この技術プラットフォームは2005年12月1日に正式に発足し、欧州の化石燃料発電所のCO₂排出量を2020年までにゼロにする（ゼロエミッション）「構想」を2006年5月に発表した。

この構想の発表後も技術プラットフォームの参加者は活動を続け、2つの重要な文書、すなわち「戦略的研究行動計画(SRA)」および「戦略的展開に関する報告書(SDD)」を最終的に完成させた。両文書は、ゼロエミッションの化石燃料発電所を経済的に実行可能な構想にする上で必要な研究開発についての指

針を示している。両文書がほぼ最終版に近い形で、2006年9月12・13日にブリュッセルで開催されたZEPの第1回総会に提出され、すべての利害関係者が議論を行った。

総会には技術分野の利害関係者すべての代表が招待されていた。総会の目的は次のとおりである。

- ・ ゼロエミッション化石燃料発電所に関するSRAとSDDを審査し、内容を確認する。
- ・ 官民のパートナーがZEP技術の開発および展開を加速する戦略的パートナーシップに参加しようとする決意および公約を実証する。
- ・ 技術プラットフォームが自らの進展状況を監視するのを支援し、次の期間のための作業計画を決定する。

この総会は、欧州全域における研究、科学技術、企業、政策決定の各分野から上層部が参加し大成功を収めた。それによって欧州にはゼロエミッション技術を目指す非常に幅広い関心と意欲があることを明確に示すことができた。

専門家らは「CO₂の回収貯留技術(CCS)とエネルギー変換効率の改善との組合せは、化石燃料発電によるCO₂排出量を大幅に削減するための短期的解決策の1つであり、したがって現在直面している気候変動が壊滅的結末を迎えるのを回避しようとするのであれば、ただちにそうした技術を展開することが極めて重要である」点に同意している。

さらに専門家は「技術的要素のほとんどが入手可能であるにもかかわらずCCSが今なお展開されていないのは、以下の2点が大きな原因である」と述べている。

1. 費用とリスクがなおも商業的利益を上回っている。
2. CO₂貯留に関する規制の枠組みが十分に定まっていない。

上記の両文書は一連の重要な勧告を行っている。本書にとっては「戦略的研究行動計画(SRA)」の勧告のほうが特に重要である。その勧告とは次のとおりである。

1. 欧州全域で10から12の総合的な大規模CCS実証プロジェクトを緊急に実行する。
2. 2010～2015年までの実証および2020年以降の実行を目指し、すでに発見されているものの有効性の確認が終わっていない新しい概念を進展させる（「先進的な新しい素材や燃焼システム」を含む）。
3. 次世代技術を実現する先進的かつ革新的な概念を得るための長期の実験的な研究開発を支援する。
4. 国内、欧州、国際の各レベルにおける協力を最大化する。
5. 実証プロジェクトや先進的・革新的概念について並行的に進められている研究開発プロジェクトで得た経験に学び、研究開発の優先項目を強化加速して「戦略的展開に関する報告書(SDD)」を支援する。

SDDとSRAはZEPのウェブサイト(<http://www.zero-emissionplatform.eu/website/index.html>)で他のさまざまな文書と共にダウンロード可能である。

欧州委員会はZEPの活動および構想に一定の基礎を置くと共に技術進歩に対する明確な需要と支援とを考え合わせて、エネルギー政策の一部として「化石燃料による持続可能な発電：2020年以降の石炭によるニア・ゼロエミッションを目指して」(COM[2006]843 最終版)と題する伝達文書を2007年1月に作成、採択した。

持続可能な化石燃料に関する伝達文書—政策

欧州委員会が作成した「持続可能な化石燃料に関する伝達文書」全体の中でおそらく核心を示しているのは、「化石燃料が今後もエネルギーミックスの中で重要な役割を担い続けるのであれば、化石燃料の使用による影響を持続可能な気候のための目標に適合できる水準まで抑制する解決策を見出さなければならない」という記述である。その上で同文書は具体的に石炭を取り上げ、「石炭は、燃焼による二酸化炭素排出を大幅に削減できる技術さえあれば、EUならびに世界全体におけるエネルギー供給の

確保と経済に重要な貢献をし続けることが可能である」と述べている。

さらに結論として次のように述べている。「したがって EU は、欧州のエネルギーミックスにおいて石炭を維持するのみならず、石炭使用によって地球の気候に取り返しのつかない損害を与えることなく全世界の成長を実現可能にすることをも目指し、石炭の持続的使用を可能にする技術的解決策を開発する必要がある。そのために必要な新技術は、たとえ誠実に集中的な努力を行っても 2020 年までに全地球規模で商業的に展開できる状態にすることは不可能だという事実を考えれば、この課題への取組みは緊急を要する。したがって EU は、今後数十年にわたる気候変動への対処において EU が全地球的リーダーシップを担い、それを維持できるだけの政策を、本日ただ今より何としても実行し始めなければならない」

「持続可能な化石燃料に関する伝達文書」やエネルギーまたは気候変動政策に関するその他の文書は欧州委員会のウェブサイト(http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/index_en.htm)からダウンロード可能である。

化石燃料、特に石炭を焚く発電所の CO₂ 排出量を削減する上で重要な（しかも実際に必須の）最初のステップは、発電所の効率向上である。EU における比較的古い発電所のエネルギー効率は約 30% であるのに対し、比較的新しい発電所の効率は褐炭で 43%、ハードコールで 46% に達している。「クリーン・コール・テクノロジー」は後者の高い効率性をすでに達成している（そのうえ実際に酸性雨や粒子状物質、ダストといった環境汚染問題を著しく緩和している）。ただしクリーン・コール・テクノロジーの開発を継続すれば、大型石炭火力発電所のエネルギー効率をなお大幅に改善できる余地も残されている。効率の技術的限界は 60% 強と考えられており、もしもこの効率を実現できれば、資源消費量を劇的に節減し、CO₂ を中心とする排出物質を著しく削減することが可能になる。そして既存の発電所のリプレースと新規建設において、利用可能な中で最良の技術(BAT)とエネルギー効率が最も高い変換技術を用いるだけで、石炭による発電で生じる CO₂ 排出量を 2020 年までに 20% 削減できるという推定がある。

しかし効率の向上だけでは、石炭火力発電所の CO₂ 排出量を、気候変動のペースを遅らせるのに十分なほど削減できるというわけではない。それを実現するには CO₂ 回収貯留(CCS)が必要となる。石炭によるニア・ゼロエミッション発電を現実化させることが求められているのである。

そのため欧州委員会は、欧州の化石燃料発電所の CO₂ 排出量を 2020 年までにゼロにすることを可能にする ZEP の「構想」を強く支持している。さらに同委員会は、大手エネルギー会社が 2015 年までに 12 ヶ所で大規模な実証プラントを建設し、CCS を石炭または天然ガス火力発電に統合するさまざまな方法を実験するという提案を強く支持している。こうした発電所では、運転開始後、技術的解決策を徹底的に実験し十全の検討を行うのに少なくとも 5 年間の運転が必要であると考えられる。そのような過程を踏んで、2020 年という目標期日に間に合わせるべく、その解決策をゼロエミッション発電所に利用することが可能だと考えられる。

われわれが望んでいる状況は、2020 年以降に建造されるすべての化石燃料発電所に CCS 技術を適用し、CCS 技術によって運転することであるのは明白である。しかしそれだけでは、CCS を適用していない他の発電所が存続することになる。現在、欧州の石炭火力発電容量は合計で約 190GWe である。そのうち約 70GWe は、2020 年までに廃止/リプレースされるものである。そこで、2020 年以前に新設された発電所は、2020 年以降に CCS 設備を追加することが不可能であったり、それが不十分にしか保証されていなかったりする事態を是が非でも避けなければならない。つまり新設発電所においても、のちに CCS 技術を追加する準備がすでに整っているということが最も望ましい（つまり「炭素」回収の準備が整っている状態）。そして最終的には既存のすべての発電所を改造するか、それを閉止してニア・ゼロエミッション技術の発電所で代替するか、どちらかを選ばなければならない。それを促すためには立法も必要であり、欧州委員会はそのために可能な方策を検討中である。

本書の主題は石炭火力発電における技術開発の必要性であるが、技術の開発と展開の両方を行うには、政府が法律規制上の適正な枠組みを作ることが当然必要である。

特に EU における CCS のための規制および政策の枠組みは、次のようなものでなければならない。

- ・ CCS 活動が環境に対して健全性、安全性、信頼性を持つことを保証する。
- ・ 現行の法制において CCS 活動を不当に妨げている障壁を取り除く。
- ・ CO₂ の削減で得られる利益に相応した適切なインセンティブを提供する。

欧州委員会はこの需要に対応するため、EC 内における温室効果ガス排出権取引方式を定めた 2003 年 10 月 13 日付けの欧州議会および欧州理事会による指令 2003/87/EC を修正する提案を今年末までに採択する予定である。さらにこの修正では、CCS の展開を妨げている不要な法律障壁も除去することとしている。

排出権取引制度(ETS) 重要な動機

ここで欧州排出権取引制度(ETS)についても言及しておきたい。というのもこの制度は、電力および熱の生産部門における技術革新を促す非常に重要な動機になると考えられるからである。

ETS は、大規模産業排出源（発電所のほか、石油精製所、コークス炉、製鉄所、セメントやガラス、石灰、レンガ、陶磁器、パルプ、紙などの生産工場といったエネルギー集約型産業部門）の CO₂ 排出量を当初のターゲットにした「キャップアンドトレード」方式である。そして各国の排出権割当て計画を欧州委員会が定期的に見直すほか、遵守のための強力な枠組みが設けられている。現在すでに EU の CO₂ 総排出量の約 45% に相当する約 11,500 の施設が制度に組み込まれている。

この ETS の第 1 段階が今年で終了する。しかしこれまで ETS に問題がなかったわけではない。大きな問題は、複数の加盟国が排出権を過大に割り当てた結果、炭素価格がかなり大幅に下落したことである。第 2 段階は、欧州委員会が現在最終的な見直しを進め、加盟国提案の割当てに判断を下している状況であり、実施期間は 2008～2012 年となっている。欧州委員会は今年末までには、2012 年以降の期間に関する提案を採択する予定である。この提案には、排出量削減に関する EU の目標を含めることになっている。

ここで注記しておきたいのは、欧州は広域市場である一方、EU 加盟国は ETS を通じて、クリーン開発メカニズム(CDM)および共同実施(JI)プロジェクトの利点を活かす形でかなりの数のクレジットを得ることができることである。さらに ETS には、他国の類似制度と相互に連携できる可能性もある。

ただし ETS だけでは、必要な技術開発と CCS の導入を推進できるとは考え難い。新技術のための投資費用が大幅に増加することに加え、炭素回収によるおそらく 10%（ポイント）程度の効率低下を含めた運転費用の大幅増加を考えれば、それ以外の経済的インセンティブが必要である。2007 年 3 月、欧州理事会は CCS 実証プラントの建設および運転を 2015 年まで促進する制度の設立を勧告した。現在、欧州委員会はこの問題をきわめて集中的に検討中であり、今年後半にはこの問題に関する伝達文書を採択したいと考えている。

CCS に関する法案の提出や ETS の修正が予想されることを考えれば、企業に対しては、企業の経営、投資に関する意思決定、さらにそうした意思決定の現実化、などを支える長期的な枠組みについて明確なメッセージを新たに伝えることが必要であろう。

研究開発 1 「SET」計画と最重要プログラム

多くの技術について大規模な実証がまだ行われていないばかりか、これから開発すべき技術も数多い。欧州委員会は複数の異なる予算源を元にしてクリーン・コール・テクノロジーの開発を長年にわたって支援してきており、最近では、ZEP への資金提供を含めて CCS を支援してきた。支援を受けた研究の多くは今後も継続することになっており、実際には欧州委員会が第 7 次研究枠組み計画（対象期間 2007～2013 年）を通じて提供する支援はさらに増加する見通しである。

EU 加盟国もまた企業を支援するため、必要な新技術の開発と実証に政治的意思と資金の両面で強い肩入れを示す必要がある。今年後半、欧州委員会は「戦略的エネルギー技術（SET）計画」を採択することにしており、この計画によって必要な研究開発および実証活動を総合的に協調させることが可能に

なる。

SET 計画の基本は、3つの重要政策分野、すなわち気候変動に対する対処、炭化水素類の輸入に対する EU の脆弱性の改善、成長と雇用確保の促進に対応するための EU における集約的エネルギー研究である。さらに SET 計画の戦略的目標は温室効果ガス排出量を削減することであるが、低炭素エネルギー技術は多額の費用を必要とするため、そうした技術を展開して EU の 2020 年および 2050 年の削減目標を達成するのであれば、その費用を実際に低下させる必要がある。それが実現すれば EU は繁栄する持続可能な経済を作り上げ、エンジンなどさまざまな低炭素エネルギー技術で世界的なリーダーシップを確保し、繁栄、成長、雇用確保を享受することが可能になる。

重要な新開発活動の 1 つに、ZEP が「最重要プログラム」として行っている提案がある。このプログラムは、EU（およびノルウェー）全域で行われているさまざまな実証プロジェクトのすべてを 1 つにまとめ、全体の視認性が高く首尾一貫したプロジェクト群を作り上げるというものである。これが実現すれば、プロジェクト参加者間の知識移転が促進され、知識の摂取が加速する。さらにこのプログラムによって個別プロジェクトについての視認性が向上すれば、欧州全域の住民に幅広く情報を伝達する能力も向上する。そしてさらに密接な協力を図れば、民間資金もより有効に利用できるようになるはずである。

最重要プログラムの手法は数多くの技術を単一のプログラムの中で検証することを容易にするものであり、企業はそうした検証済みの多様な技術の中から、それぞれの状況と立場に最も適しており、自らが利用したいと考える技術を選択することが可能になる。図 1 は、実証を通じて確認を進めていく予定の、CCS 価値連鎖におけるさまざまな「技術ブロック」を示したものである。単一の実証プラントではこうした多様なシステム、技術、燃料のすべてを検証することが不可能なのは明らかであろう。異なる国の会社が異なる立法上および規制制度の下で作業するというのも理解しなければならない。EU は、「一つのことすべてを賭ける」、つまり一つのサイトで単一の発電技術および回収技術を実証することを選ぶよりは、むしろヨーロッパの手法が前進する最善の方策であると考えている。また、単一の会社、あるいは加盟国であっても、異なる環境ですべての異なる技術の実証を実施、支援することができないのは明らかである。

研究開発 2 先進超々臨界圧 (A-USC) 技術

1997 年、欧州委員会は THERMIE プログラムの一貫としてある大きなグループと契約(SF/1001/97/DK)を締結した。このグループは欧州の電力事業者および電力産業への機器サプライヤーに複数の研究機関を加えた集団であり、契約は、このグループが行っている微粉炭焚き燃焼(PF)発電所の改善可能性に関する実証プロジェクトの第 1 フェーズを支援するものである。英国とスイスの両国政府もこのプロジェクトに資金提供を行った。プロジェクトの最終的な目標は、700~720°C の超臨界蒸気温度で稼動する先進 PF 実証プラントを建造し運転することであった。それにちなんでプロジェクトは AD700 と呼ばれた。

このプロジェクトが成功すれば、石炭火力発電所の競争力を向上できると共に、最新鋭の微粉炭火力よりもさらに約 15%（アジアの一部に特に多い非常に老朽化した発電所であれば 40%）の CO₂ 排出量の削減を実現できる。

プロジェクトに設定されていた目標は次の 2 つである。

- ・ 実証プラントの送電端効率を、現状で最高性能の 47%から 50~55%（冷却水源による）の水準に高める。
- ・ プラント全体の構造を見直すことで微粉炭火力の投資費用を低減する。

プロジェクトそのものは複数のフェーズに分かれていた。

第 1 フェーズ（フェーズ 1）は 2 つに分かれていた。フェーズ 1A には 2 つの目標があった。第 1 の目標はタービン、ボイラ、配管などを中心に発電プラント構成機器の概念設計を行い、プラントの建設

に必要な設計構想、材料、製造方法が入手可能であるのを実証することであった。第 2 の目標は発電プラントの商業的競争力を実証することであった。フェーズ 1A は 2000 年末に成功裡に完了した。

プロジェクトのフェーズ 1B は主に素材開発のためのプログラムであり、その中心は水／蒸気サイクルの高温部位に用いる新しい「超合金」の開発であった。この超合金は、700～720℃という蒸気温度での運転を可能にする上で必須のものであった（既存プラントでは 600～620℃）。こうした超合金がガスタービンや原子力産業で用いられているのは周知のことであったが、微粉炭火力での使用は新しい試みであった。このような微粉炭火力で使用するには、クリープ強度に優れ、それでいて生産費が比較的安価な超合金を開発する必要があった。したがってこのフェーズにおける主要タスクの 1 つは、それに適合する特殊な材料を識別、選択し、試験を行うことであった。フェーズ 1 の活動は 2004 年末に完了した。技術的詳細の大部分は 2005 年にイタリアのミラノで開催された会議で発表されており、下記のプロジェクトのウェブサイトで見ることができる。

(<https://projectweb.elsam-eng.com/AD700/Milan%20Conference/Forms/AllItems.aspx>)

プロジェクトの第 2 フェーズ（フェーズ 2）はすでに 2002 年に始まっており、欧州委員会の第 5 次枠組み計画に基づく資金提供支援を（契約 ENK5-CT2001-0051 を通じて）受けている。パートナー数は 35 で、その多くはフェーズ 1 から参加していたパートナーである。加えてスイス政府も支援を行った。

フェーズ 2 における主要タスクの 1 つは、さまざまな構成機器の設計、製造、試験を行うことであった。たとえばボイラであれば、蒸発器パネル、過熱器パネル、溶接した厚肉配管の調査を行った。またフェーズ 1 で提案があった水平ボイラについても徹底した研究を行った。というのも水平ボイラであれば非常にコンパクトな設計が可能となり、ニッケル主体の合金を用いる配管に高額な費用を要する状況ではそれが大きなメリットになるからである。タービンについては、入口バルブ、鍛造ロータ、溶接ロータ、可動ブレード、静止ブレード、圧力格納部位のボルト止めおよび溶接のすべてについて調査した。

またこのフェーズ 2 では、本格実証プラントのための事業計画を策定する作業も行った。本格実証プラントはプロジェクトのフェーズ 4 になって初めて建設可能になるものであるが、最新の材料強度値および価格に照らして詳細なリスク評価および実行可能性に関する審査を行うことは重要な意味があった。この作業により、この技術は CO₂ 価格が「さほど高くない」場合であってもなお実現可能性を維持できることが明らかになった。

プロジェクトの第 2 段階は 2006 年末に完了した。

大型の構成機器のための試験設備、たとえばフルスケール 400MW タービンの高圧部位の試験を行うことができる設備を建設するという計画があった。しかし残念ながら欧州委員会の第 6 次枠組み計画はクリーン・コール・テクノロジーに関する研究を支援しないことを決定した。その結果、フェーズ 3 では主にボイラコンポーネントを試験するためのさほど大きくない試験設備を計画することになった。

プロジェクトのフェーズ 3、すなわち AD700 用のコンポーネント試験施設を意味する COMTES700 は 2004 年 7 月から始まり、資金提供を、契約 RFC-CP-04003 に基づいて EU 石炭鉄鋼研究基金ならびに VGB によって設立された E_{max} グループから受けた⁸。さらにコンポーネントのサプライヤーである Alstom、Hitachi Power Europe、Burmeister、Wain Energy、Siemens も資金提供に応じ、VGB がプロジェクトの調整役を務めた。総予算は 1,520 万ユーロであり、そのうち 57% を発電企業、3% を設備サプライヤー、40% を RFCS プログラムが負担した。

COMTES700 の目標は、近い将来に欧州製の 700℃石炭焚き実証発電プラントを実現するために必要な高温耐熱材料を試験するコンポーネント試験施設(CTF)の詳細設計、製造、建設、運転を行うことであった。

2004 年 7 月 1 日に始まったプロジェクトは 2009 年 12 月 31 日までを実行期間とし、欧州の大手企業 6

⁸ E_{max} グループには、E.ON、RWE、Vattenfall Europe、EDF、Electrabel、PPC、Vattenfall Nordic、DONG Energy Generation が参加している。

社から成る共同体が実行役を務めている。プロジェクトの運営役は、さらに欧州の企業 10 社を加えた COMTES700 パートナース共同体である。

試験はドイツの Gelsenkirchen にある E.ON の Scholven F 発電所で行われている。試験を行う設備および部品は同発電所のボイラに設置されている。具体的には蒸発器や過熱器パネルとそれに必要な蒸気ラインおよびバルブである。

CTF 運転の結果が出れば、特別作業グループがその評価を行い、それを利用して今後の 700°C 実証石炭火力発電プラントの構成機器の最適化、基本計画、設計を行うことになっている。

COMTES700 プロジェクトは現在中間地点まで進んできた。プロジェクトは非常に順調であり、これまでに得られた結果は非常に有望なものである。CTF の運転は 2006 年末まで 8,000 時間以上にわたって順調に進んでいる。プロジェクト終了時には運転時間は約 20,000 時間に達する見通しである。より詳しい情報はプロジェクトのウェブサイト(<http://www.comtes700.org>)で得ることができる。

ただし COMTES700 に参加した企業のうち少なくとも 1 社は、AD700 プロジェクトの第 3 段階が完了するのを待たずにこの技術および試験結果の利用を開始しようとしている。E.ON が、まったく新しい材料を使用した世界初の大規模石炭火力発電所をドイツに建設すると発表したのである。計画では、新しい 500MW 発電所の設計を 2008 年までに完了し、建設を 2010 年前半に開始し、2014 年に引き渡すことになっている。サブアセンブリおよびコンポーネントは、COMTES700 で実証予定になっている蒸気温度 700°C および蒸気圧力 350bar に耐えられるものを使用し、効率は 50% 超を計画している。このプロジェクトの予算は少なくとも 7 億ユーロである。

研究開発 3 A-USC 技術に関する（あるいは関係がある）欧州のその他の研究

欧州には、欧州委員会が直接の資金提供を行っているわけではないが、先進 USC 石炭火力発電技術の進歩に多大な貢献を行ってきた取組みが多数あり、それは現在も続いている。

たとえば Esbjerg 第 3 号機（デンマーク）ボイラの過熱器部分には、COMTES700 装置の前身である試験装置が設置されていた。設置されていたのはそれぞれ異なる過熱器であり、最初のものはずでに 1995 年に設置され、異なる期間（最長 7 年）および異なる温度（620°C、635°C、700°C）で試験が行われた。こうした試験により、材料特性に関してさらに研究を行う必要があること、とりわけ排煙側の高温腐食速度と水蒸気側の酸化挙動についていっそうの研究が必要なることが明らかになった（Chen ら⁹、2005 年）。そこで新たに過熱器を設置し、現在 720°C で試験を行っているところであり、今後 4 年間の運転を計画している。この研究に対しては E_{max} グループが資金提供を行っている。

公共資金が投入されている COMTES700 プロジェクトとはまた別の研究開発プロジェクトでは、Scholven 発電所の CTF にフルスケール（4 トン）タービン制御バルブを設置している。このバルブが選択されたのは、700°C のタービン発電機のセットにおける最も重要なコンポーネントという理由による。このプロジェクトには欧州の複数の発電会社とサプライヤー 2 社（Alstom と Siemens）が資金提供を行っている。試験運転は 2009 年 6 月の完了を予定している。

ドイツ連邦経済技術省(BMWi)が策定した「化石燃料焚き発電プラントのための CO₂ 削減技術」(COORETEC)の一環として、新しい発電プラントでの利用が検討されている材料について、複数の研究が進行中である。その研究開発コンセプト、4 つの作業グループの構成とメンバー、および発電所プラントのコンセプト (CO₂ 回収を行うものと行わないものの両方) のためのロードマップは、BMW_i 文書の 527 号に詳細な記述があり、また専用ウェブサイト (<http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1365>) でも閲覧することができる。資金はドイツ連邦経済技術省と参加企業（主に発電会社とサプライヤー）が提供している。BMW_i はそのほか、700/720°C 発電所プ

⁹ Q. Chen, G. Stamatelopoulos, A. Helmrich, S. Kjaer, C. Stolzenberger 『720°C までの蒸気温度における先進ボイラ素材の酸化および腐食特性の研究』、超高強度スチールに関する第 1 回国際会議、2005 年 11 月 2~4 日、イタリア・ローマ、Associazione Italiana di Metallurgia

ラント用の圧力容器の製造に用いる複数の材料の試験を行う MARCKO 700 プロジェクトも支援している。

欧州では複数の「COST」プロジェクトの下、今後の 700～720℃発電所のための材料素材認定プログラムも進められている。「COST」、すなわち「科学技術研究分野における欧州の協力」プロジェクトは、欧州における研究推進のため 1971 年に設立された政府間の枠組みおよびネットワークシステムである。

「EU の枠組み計画」は、研究そのものではなく COST プロジェクトの事務局に対し支援を提供している。たとえば COST 536 ACCEPT（「環境に優しい発電プラントの重要コンポーネントのための合金開発」の略称）は、クリープ特性および酸化特性を向上させた新しい高温フェライト鋼を開発するプロジェクトであり、このプロジェクトには欧州の 17 のパートナーが参加している。また COST 538 グループのパートナーらは、高温発電プラントの耐用期間を延長させる方法およびツールの開発に取り組んでいる。

英国の旧貿易産業省(DTI)（現在の職業・企業経営・規制改革省[BERR]）は「よりクリーンな化石燃料プログラム」を実施中であり、このプログラムでは、超々臨界圧条件における材料の水蒸気酸化挙動を含め、ローエミッション発電プラントの先進材料に関する重要プロジェクトや、COST 536（上記参照）に役立つ重要コンポーネント用合金の開発活動が行われている。

最後に挙げるのは、欧州企業 10 社（ドイツ 5 社、デンマーク 2 社、オーストリア、ベルギー、フランスが各 1 社）が参加しているプレエンジニアリングプロジェクト「NRW 発電プラント 700℃」（NRWPP700）である¹⁰。参加企業は従来のプラントエンジニアリングと発電所運転企業の専門的部門が計画した全体的な発電プラントのコンセプトを用いて共同でプレエンジニアリング研究をすることになっている。技術革新的な特徴的なもの（蒸気発生器、蒸気タービン、およびその他の高温にさらされる重要コンポーネント）は、高温エンジニアリング分野に十分なノウハウを持つ専門企業が担当する予定である。

この研究は 3 段階で進められている。すなわち、ハードコール焚きの出力約 500MW の 700℃実証プラントの計画、出力約 1,000MW の商用 700℃ハードコール火力への技術的・経済的知見の伝承、出力約 1,000MW の商用 700℃褐炭発電所に対する技術的・経済的知見の伝承である。このプロジェクトは AD700 の第 4 フェーズと見なすことも可能な内容であり、資金はドイツ連邦ノースラインウエストファーレン州が提供しているほか、欧州委員会も欧州地域開発基金を通じて提供している。

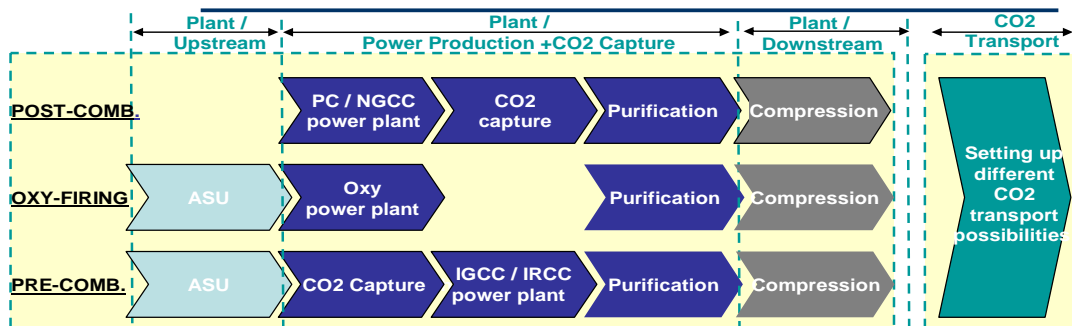
結論

以上の記述は、欧州がクリーン・コール・テクノロジーの今後の開発をどれほど重要視しているかをよく大まかに紹介したものに過ぎない。石炭を欧州で今後の発電に用いるためには、エネルギー効率を今後大きく向上させ、CO₂ 排出量を大幅に削減する必要があることは自明である。石炭火力発電の未来に大きく依存しているすべての企業、特に発電所運転企業やサプライヤーなどの企業は、公共の資金提供の有無にかかわらず密接に協力し、時間との戦いともいえるこの研究に取り組んでいる。当然ながらそうした企業は、先進超々臨界圧石炭火力発電所は将来に向けた大きな可能性を秘めていると信じている。しかしながら先進超々臨界圧技術は、研究を進めればすぐに実証できるような技術からはほど遠いものである。このことは、ガス化複合発電(IGCC)技術を開発するために進められている研究活動およびプロジェクトのすべてと、CO₂ 貯留設備を備えた 450MW 発電プラントをやはり 2014 年までに建設するという計画にも同様に当てはまることであろう。

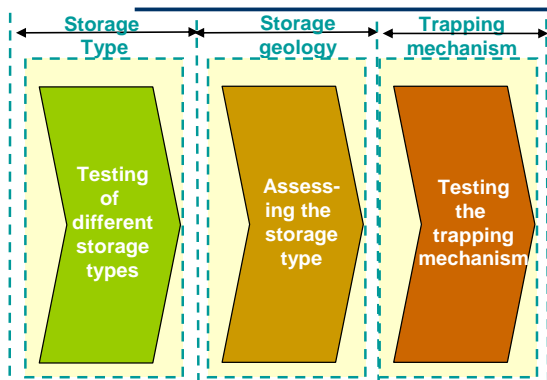
豊富な石炭資源からの発電に関し、欧州は決して単一の技術に依存するつもりはない。多くの技術ならびに技術のバリエーションについて今後も研究と実証を継続するつもりである。その中で成功する技術もあり、場合によってはさほど成功しない技術もあるであろう。しかし重要なのはとにかく成功を収めるということであり、その一点に欧州エネルギー部門の将来がかかっている。

¹⁰ このグループに参加しているのは、DONG Energy Generation、E.ON Energie、Electrabel、EdF、EnBW Kraftwerke、EVN、RWE Power、STEAG、Vattenfall A/S Nordic Generation、Vattenfall Europe Mining & Generation である。

表 1 – 「最重要プログラム」 のために実証すべき「技術ブロック」
 (Source: Zero-emission fossil-fuel power plant Technology Platform)



- Large scale (10 000 T/day) Air separation to provide pure O₂ (>95%) to the boiler / gasifier
- Validate Integration possibilities of ASU in Power Plant
- POST-COMB: Amine, Ammonia, others, process development for new plants & retrofits
- OXY-FIRING: Oxy –PC (different burners + several O₂ premix technology, Oxy-CFB)
- PRE-COMB: NG reforming, gasifier (quench cooling, radiant cooling) CO shift, H₂/CO₂ separation, GT H₂ combustion technologies, cycle optimization
- ALL: Efficiency increase of boiler, turbomachinery & CC definition
- CO₂ Purification
 - SOX
 - NOX
 - PM
 - Mercury
 - H₂O Condensation
 - Inerts removal
 - Drying
 - Water treatment
- High pressure/ Large scale CO₂ compression (100-150 bars)
- CO₂ compression integration
- CO₂ preparation for transport
- Transport to the storage site
 - Land pipeline
 - Sea pipeline
 - Shipping
- Re-compression as required



- Storage of CO₂ in
 - Saline aquifers
 - Exhausted petroleum structures
 - EGR/EOR
 - CBM/ECBM
- Assessment of type
 - Type of cap rock
 - Reservoir quality
 - Volume
 - Overall properties
 - Etc.
- Trapping mechanisms
 - Single phase gravitational
 - Dissolution
 - Residual
 - Mineral
- Over different time scales

TECHNOLOGY BLOCKS : Components and integration in value chains to be validated for full size industrial use with several fuels: COAL, LIGNITE, PETCOKE, NATURAL GAS, BIOMASS, etc.

氏名 : Dr Derek M. TAYLOR



Dr Derek Malcolm TAYLOR was born in Bury, Lancashire, UK. He graduated with a degree in geology and a PhD in the geochemistry from Nottingham University.

He worked for British Petroleum from 1972 to 1977 with most of that time based in Canada and Australia. He then moved to work in Paris for the OECD/NEA from 1977 until 1984 when he

joined the European Commission in Brussels where he has now worked for 23 years.

He spent the first six years in the Commission in DG XVII-Energy before moving to the Directorate General for Industry and the Internal Market (DG III) where he was responsible for relations with the USA, Canada, South Africa, Australia and New Zealand. From 1995 he was head of unit for a range of nuclear energy based activities in the Directorate-General (DG) for Environment and, from 2001, in DG Energy and Transport.

Since May 2004 he has been Adviser on various aspects of energy and energy policy, in particular looking at the energy mix in the European Union and its Member States. He is also responsible for international co-operation on clean coal technologies (CCT) and carbon capture and storage (CCS) and for following the environmental aspects of conventional energy use.

Derek Malcolm TAYLOR 博士は、英国ランカシャー州ベリーに生まれ、ノッティンガム大学で地質学の学位と地球化学の博士号を取得した。

1972～77 年の間、BP に勤務し、仕事の拠点を主にカナダと豪州においた。77 年に OECD/NEA（経済協力開発機構/原子力機関）パリ本部に移り、84 年から現在までの 23 年間、欧州委員会ブリュッセル本部に勤務している。

EC での最初の 6 年間はエネルギー総局（DG XVII）に所属し、その後は産業・域内市場総局（DG III）で米国、カナダ、南アフリカ、豪州、ニュージーランドとの対外折衝関係を担当した。1995 年から環境総局において核エネルギーを中心とする一連の活動を担当するユニットのヘッドを務め、2001 年以降はエネルギー・運輸総局に所属する。

2004 年 5 月よりエネルギーおよびエネルギー政策のさまざまな局面に関するアドバイザーとして、特に欧州連合および加盟国内のエネルギーミックスに注目している。また、クリーン・コール技術（CCT）と二酸化炭素分離回収・貯留（CCS）に関する国際協力と、従来のエネルギー利用が環境に与える影響の追跡も担当している。