

科学技術動向

2004

11

No.44

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ① 国際ヒトゲノムシーケンシングコンソーシアムは全ヒトゲノム解読の最終報告についての論文を発表した
- ② NIH ワークショップの「光学イメージング 2004 (Optical Imaging 2004)」で NIH から光診断技術に関する米国国家プロジェクトが提案された

▶ 環境分野

- ① 環境、エネルギー分野で進む微生物利用研究

▶ ナノテク・材料分野

- ① 安全性確保と医薬応用の間で論争されるナノ材料

▶ エネルギー分野

- ① 豪州、米国における地熱発電技術開発の動向

▶ 製造技術分野

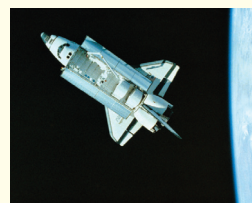
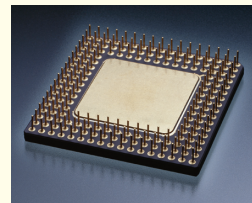
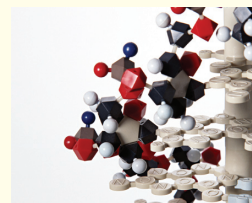
- ① エタノール吸着分離用新材料が提案された

▶ フロンティア分野

- ① 成層圏観測や微小重力実験を目指す北海道 NPO のハイブリッドロケット

特集 1 周波数共用をめぐる技術と政策の動向

特集 2 石炭利用・クリーン化技術の最新動向と今後の展望 —クリーンコールテクノロジーに注目して—



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

5

①国際ヒトゲノムシーケンシングコンソーシアムは 全ヒトゲノム解読の最終報告についての論文を発表した

国際ヒトゲノムシーケンシングコンソーシアムは、既にヒトゲノム解読プロジェクトの終了を宣言しているが、この最終結果についての論文を10月21日付けのNature誌に発表した。それによると、ヒトゲノムの解読の精度は当初の目標を1桁上回る99.999%であり、ヒトの遺伝子の数は2001年のドラフト配列の発表時の予想を下回る、2万～2万5千個であったことが明らかになった。全ヒトゲノム解読によって、生物学的研究の基盤となる情報が整備されたことになり、今後、遺伝のメカニズムや、遺伝と健康および疾病の関連についての詳細な研究が可能になると考えられ、生命科学の発展が期待される。

②NIH ワークショップの「光学イメージング2004 (Optical Imaging 2004)」 でNIHから光診断技術に関する米国国家プロジェクトが提案された

第4回NIHワークショップのOptical Diagnostic Imaging from Bench to Bedsideが2004年9月20～22日に開催された。今回のワークショップでは、光学診断技術の臨床応用への展開が明確な目標になり、NIHから国家プロジェクトの提案が行われた。ワークショップで討論された事項は、超早期がんの検出、光分子プローブの開発、光を使った生体診断技術、および光学技術を用いた装置の販売の開始などであった。米国では、製薬企業や化学系企業及び農獣医薬企業が、エレクトロニクス分野の光学技術と結びついて新しい産業が作られつつあると考えられる。

環境分野

6

①環境、エネルギー分野で進む微生物利用研究

微生物を利用した環境浄化、環境測定、エネルギー生産に関する研究が、わが国で進んでいる。環境浄化に関して、原油成分を短期間で半減させる能力を持つ海洋中の微生物や、原油中の有機硫黄化合物（分子量300以上）を分解し4割近く減少させる微生物の研究が進展している。環境測定については、土壌診断用バイオセンサーが実用化された。エネルギー生産についても、微生物による水素製造技術が研究されている。微生物の基礎的な理解と安全性への配慮が不可欠であるが、微生物利用研究の可能性は大きいと考えられる。

ナノテク・材料分野

7

①安全性確保と医薬応用の間で論争されるナノ材料

ナノテクノロジーを活かした材料開発の分野においては、研究開発の段階から、労働安全衛生および環境保護などへの配慮が強く求められる傾向にあり、このほど、ナノ材料を生産するうえで労働安全衛生をいかに維持していくかに関する初めての国際会議が英国で開かれた（First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials：10月12～14日）。例えば、炭素系ナノ材料のひとつであるフラーレンは応用への期待と安全性の両方が議論されているが、フラーレンの応用を研究する代表的な大学のひとつである米国ライス大学からも、フラーレンの人体への影響データが発表された（Nano Letters, vol.4, No.10, p.1881 (2004)）。同論文には、表面修飾による影響力の軽減、あるいはその影響力を活かした医薬品応用などが述べられている。類似の表面修飾フラー

レンの応用技術については、日本の産学共同研究チームも特許出願しているが、このような応用展開において、科学者自身が安全性データ等を準備し、安全基準の指針作りに積極的に参加する態度が求められている。

エネルギー分野

8

①豪州、米国における地熱発電技術開発の動向

豪州、米国で地熱発電技術開発が進んでいる。地熱エネルギーは、他の自然エネルギーと比較してエネルギー密度が高いなどの優れた特徴を有する。豪州では、従来の天然熱水・蒸気を用いる地熱発電ではなく、高温で乾燥した岩体からエネルギーを取り出す、新しい地熱発電技術を商業化するプロジェクトがシドニー南方で進行している。豪州連邦政府は、2000 年からの約 5 年間で総額 6,000 万米ドルを投資し、この先進地熱発電システムを推進している。

米国では、1967 年以来、地熱エネルギー利用技術開発をすすめてきたが、今年、地熱エネルギーの普及促進に関するプログラムを新たに発表し、年間 4,000 万ドルを投資する予定である。

世界有数の火山国で地熱資源の豊富な日本としても、豪州、米国の先進地熱発電システムプロジェクトの動向を注目していく必要がある。

製造技術分野

9

①エタノール吸着分離用新材料が提案された

再生可能なバイオマス的一种として近年注目されているエタノールは、通常、水との混合液として生産されるが、エタノールと水の混合液から効率的にエタノールを分離する手法の開発が望まれている。9 月 27 日～30 日に開催された触媒討論会において、東京大学大学院工学研究科の水野哲孝教授のグループから、特殊な組成を有するアニオン性の無機金属クラスターであるポリオキシメタレートとカチオンの複合体が、エタノール・水混合液から水を選択的に吸着し、純度 99.9wt% 以上のエタノールが得られたとの発表がなされた。

フロンティア分野

9

①成層圏観測や微小重力実験を目指す北海道 NPO のハイブリッドロケット

特定非営利活動法人 (NPO) 北海道宇宙科学技術創成センター (HASTIC) が回収型ハイブリッドロケットの打上げサービスを開始した。ハイブリッドロケットとは、固体燃料 (プラスチック) と液体酸素を混合して燃焼させる方式のロケットである。

ロケットの打上げは北海道大樹町の多目的航空公園で行われ、パラシュートで落下速度を緩和して回収する。既に試験打上げに 3 回成功している。

北海道大学の永田晴紀助教授によれば、今回発表した小型ロケットは、安全上の理由から到達高度を 1,000m に制限したが、今後は成層圏観測 (高度 60km、観測機器 4 kg 程度) から宇宙空間での微小重力実験 (高度 110km、実験機器 10kg、微小重力時間 3 分程度) への発展を目標にしているとのことである。

ハイブリッドロケットによる打上げが事業化される段階に至ったことで、今後の一層の発展が期待される。

携帯電話の普及は著しく、無線 LAN の需要も爆発している。政府は「ユビキタス」を標榜して IT 政策を進めている。

無線技術を利用するには、周波数を確保する必要がある。ある周波数が使用されているとき、同じ周波数を用いると混信が起きる。これを避けるために、政府が利用者に免許を付与するという形で周波数政策は展開されてきた。この結果、新しい技術による周波数帯域の新規利用は、常に高周波へと追いやられてきた。

ところで、たとえばテレビ放送ではチャンネル間には周波数の間隙が存在し、このサービスが占有している周波数帯域には充分余裕がある。一方、無線 LAN の利用帯域はすし詰め状態で既に限界に近づいている。爆発する無線需要を満たすために、テレビ放送帯域などを減らす一方、無線 LAN などが利用する共用周波数を拡大していくことを、大きな政策上の論点として、各国で議論が始まっている。

アメリカでは、周波数政策のあり方を根本的に見直す使命を持って、FCC の中にタスクフォースが設置された。このタスクフォースは、市場原理に基づく周波数配分方式、軍事目的の無線利用等についての強権的な周波数指定と、「周波数コモンズ」を組み合わせる政策を提言した。周波数コモンズは誰もが利用することができる周波数帯域のことである。わが国でも、情報通信審議会が「電波政策ビジョン」を提言し、周波数コモンズを拡大していくことになっている。

「周波数コモンズ」の拡大を期待して、多くの無線技術が開発の途上にある。すでに免許を持った利用者がいる周波数で、他の利用者が無線を利用する技術も研究されている。この技術のことを「オーバーレイ」と呼び、関係者の間で注目されはじめた。

個々の周波数についてはノイズレベル以下とするが、大きな幅で周波数を利用することによって情報を送信しようというのが周波数拡散の考え方である。その延長線上で、広い周波数帯域を一気に活用する超広帯域無線システムが研究されている。その商用化も時間の問題である。

無線技術は、その周波数が利用できるようになって、はじめて実用に供される。このように、無線技術の研究開発には、周波数政策が大きな影響を与える。無線技術を実用に供していくためには、簡単に実験できることが重要である。わが国では屋外実験を行おうとするものは個別に免許を得なければならない。人口数千人規模の離島を無線特区として活用し、市場投入の一手手前の研究開発を実施するというアイデアは、こうした問題点を打開する可能性を持っている。

特集－2

石炭利用・クリーン化技術の 最新動向と今後の展望

— 19

— クリーンコールテクノロジーに注目して —

日本では、これまで、1次エネルギー源の約2割を石炭でまかなってきた。エネルギー源多様化の観点からは、石炭を約2割、これからも利用することが重要である。この場合、環境負荷が高いという課題をいかに克服し、埋蔵量が豊富で埋蔵地域の分散性が高いという利点をいかに活用していくかがキーポイントになる。近年、環境調和的な石炭利用技術（クリーンコールテクノロジー：CCT）の開発や石炭安定供給の維持強化に向けた環境整備を積極的に進める必要性が高まってきた。

CCT に関する技術開発では、石炭ガス化などの CCT 重点開発と実用化、低コスト化推進を提言する。CCT によって、石炭の最大の課題である環境負荷問題は克服可能であり、政府のイニシアチブのもとに下記を重点予算化し、推進する。

- ① 2010 年までに、石炭をガス化して低コストで効率的に発電する技術開発を重点加速化し、信頼性向上、発電効率向上を目指す。また、石炭灰の有効利用技術開発を推進する。
- ② 2015 年までに、石炭ガス化発電と燃料電池との複合発電技術開発を通してさらなる発電効率向上を目指す。
- ③ 2020 年までに、二酸化炭素（CO₂）分離回収・固定化による温暖化ガス排出低減を目指す。

①、②は、産学官連携の国家プロジェクトで実施する。特に、②では石炭ガス化先端技術開発と実用化技術開発のギャップを埋めるべく、商業化へのロードマップに即した技術開発中間評価を厳格化したプロジェクトを導入し、達成時期と目標性能、目標コストを明確化した評価プログラムを採用する。

さらに、石炭の安定供給確保や CCT 関連の人材育成に関する取り組みとして、下記を提言する。

石炭価格の低位安定性を中長期的に確保するため、産炭国における炭鉱開発、石炭輸送インフラ整備調査の強化や政策金融の機動的な運用等を通じ、炭鉱開発・インフラ整備を促進する。APEC（アジア太平洋経済協力）や ASEAN（東南アジア諸国連合）+ 3（日・中・韓）などのもとに、日本が主導して、国際ネットワークとしてのアジア石炭フォーラム（仮称）を設営・運用し、アジア域内の石炭需給見通しや CCT 普及策に関する情報を交換・共有する。

また、一部の大学・大学院で、複数の専攻にまたがった CCT 関連の教育プログラムを設け、中長期的に人材育成を行う。大学院のプログラムでは、将来の受け皿となる企業などでの実務インターンシップ研修を必修とし、技術成果実用化を学ばせる。CCT 先進技術や石炭科学のベースをもち、新しい技術の提示、実用技術との対応性が理解できる人材を、大学・大学院から輩出する一方、企業における CCT 関連実務現場教育プログラムも充実させ、CCT 分野における日本の国際競争力強化につなげる。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（11月号は2004年10月9日より11月5日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

① 国際ヒトゲノムシーケンシングコンソーシアムは全ヒトゲノム解読の最終報告についての論文を発表した

国際ヒトゲノムシーケンシングコンソーシアムは、既に2003年4月に全ヒトゲノム解読（ヒトゲノムプロジェクト）終了を宣言しているが、10月21日付けのNature誌にヒトゲノム解読の最終報告についての論文を発表した（Nature, vol.431, 931 - 945, 2004）。

2001年にヒトゲノムのドラフト配列は論文発表されている。なぜ今になって最終報告が必要なのかについては、同じ号のNature誌にEnd of the beginningという題で解説記事が示されている（Nature, vol.431, 915 - 916, 2004）。即ち、ドラフト配列は「完全解読」には程遠かったため追加の修正や訂正作業が必要であり、今回それらが終了したということである。

今回の論文によると、ヒトゲノムプロジェクトにおいてゲノム解読を完了した塩基は、解読の対象である「遺伝子が存在する領域

（真正クロマチン領域という）」の99%以上に相当する約28億5千万塩基であり、解読データの精度は、プロジェクトでの当初目標の99.99%を1桁上回る99.999%（誤り率が100,000塩基に1塩基）であることが報告された。また、解読したゲノム配列の連続性（間にギャップや不確かな領域を含まない）が向上し、約3千850万塩基の連続した配列が平均して得られたことが示された。遺伝子の働きを制御するゲノム領域は、遺伝子の周辺に位置すると推測されているので、配列の連続性が向上したことにより、これらの領域のゲノムを研究することが容易になると期待されている。

さらに、今回、ヒトゲノム中の遺伝子の数において従来の予想と違う結果が得られた。ヒトの遺伝子は、10年前までは10万個と予想され、3年前のドラフト配列の発表時には3万～3万5千個と予想されていた。しかし、今回、これまでの予想をさらに下回る2万～2万5千個であると発表された。ちなみにハエの遺伝子の数は1万2千個であり、ヒトはその約2倍程度である。今回発表された

ヒトの遺伝子数は、生体機能の複雑さからすると非常に少ないと考えられ、更なる研究が必要であると考えられている。

また、ドラフト配列時に数十万カ所あったゲノム配列上のギャップなど配列の不確かな領域は、今回の報告で341カ所と少なくなったが、これらの領域やプロジェクトでは解読の対象とされていなかったヘテロクロマチン領域^①などのゲノム解読もゲノムネットワークの全貌を知る上で重要である。これらの領域については現在の技術で対応することは難しく、更なる研究と新たな技術が必要とされている。

精度の高いヒトゲノム解読が完了したことにより、生物学研究の基盤となる情報が整備されたことになり、従って、今後、遺伝のメカニズムや、遺伝と健康および疾病の関連についての詳細な研究が可能になると考えられ、生命科学の更なる発展が期待される。

用語説明

①ヘテロクロマチン領域

DNAの繰り返し配列などから構成される転写が不活発で凝縮した領域

② NIH ワークショップの「光学イメージング 2004 (Optical Imaging 2004)」で NIH から光診断技術に関する米国国家プロジェクトが提案された

1999 年に第 1 回 NIH Workshop : In vivo Optical Imaging from Bench to Bedside が開催された。第 4 回目の今年にはテーマ名に「診断 (Diagnostic)」が加わり、Optical Diagnostic Imaging from Bench to Bedside となった (2004 年 9 月 20 ~ 22 日開催)。今後 NIH ではこの言葉を使うようである。

この Workshop は、ヒトゲノム後における次の国家プロジェクトの 1 つとして、光学技術とゲノム科学が結びついた新分野である「医用光学」の進展を図るとともに、新しい産業の発展の可能性を探るために始まった。今回は 1 つの結論を出すためこれまでより大規模であった。

NIH は 2002 年に NIBIB (National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering) を設立し、分子イメージングを中心

とした国家プロジェクトを、既にスタートさせている。

今回のワークショップでは、光学診断技術の臨床応用への展開が明確な目標となり、最終的に NIH から国家プロジェクトの提案が行われた。ワークショップで討論された事項の内、特記すべき事項および米国内動向は以下の通りである。

① NIH が光学イメージング全体の目標 (旗印) として掲げているのは、超早期がんの検出 (Ultra Early Detection of Cancer) である。特に、乳がん、食道がん、大腸がん、皮膚がんを対象としている。

②乳ガン診断 (Optical Mammography) は、光学イメージングの最大のターゲットである。

これは、NIH の新たな研究所としての婦人病研究所 (Institute of Women's Diseases) の設立と連動している。

③全ての分光パラメーター、吸収、散乱、偏光、蛍光を使った生体診断手法の開発を推進する。

④製薬会社やベンチャー企業の参入により、光分子プローブ (Optical Molecular Probe) の開

発を推進する。

⑤多機能分光内視鏡の開発が開始される。

⑥眼科用 OCT (Optical Coherence Tomography)、OCT 内視鏡、光マンモグラフィ、食道がん蛍光観察システム等の販売が開始される。

⑦ GE 社、Phillips 社、Siemens 社が、それぞれ子会社を介して、光による分子イメージング装置と光マンモグラフィ装置の販売を開始する。

⑧米国内及び米国と EU の光学診断技術関連の Network が構築される。

米国では、製薬企業や化学系企業及び農獣医薬企業が、エレクトロニクスやメカトロニクス分野の光学技術と結びついて新しい産業が作られつつあると考えられる。

参 考

1) <http://spie.org/conferences/programs/04/nih/>

(電気通信大学 教授
山田 幸生氏より)

環境分野

①環境、エネルギー分野で進む微生物利用研究

環境分野における微生物利用に関しては、バイオレメディエーション (Bioremediation) ①の研究がよく知られている。とりわけ、米国ではスーパーファンド法②を受けて活発に研究が進められており、既に実際の適用事例もある。我が国においても大学や国立環境研、企業などで研究が進められている。

日本大学と(株)海洋バイオテクノロジー研究所は、NEDO の委託により日本沿岸を含む全世界の海域で調査を行い、原油中で生育可能な微生物が、ほとんどの海域で普通に存在していることを見出した。そして生海水に無機塩類と原油由来の芳香族画分を添加し、さらに、ロドコッカス属細菌から分離、抽出した細胞外多糖を加えて海水土着の微生物による原油の分解性を検討したところ、細胞外多糖を添加した条件では残存重量が約半分に減少したが、無添加の場合はほ

とんど減少しなかった。このことから同菌の細胞外多糖が原油の分解に有効であると考えられる。

原油から硫黄酸化物を除去する研究に関しては、早稲田大学大学院の研究グループが、従来、困難とされた分子量 300 以上の有機硫黄化合物を分解・除去する微生物を発見し、単分離に成功した。この微生物を用い、硫黄濃度約 10,000ppm の未脱硫軽油から硫黄分除去を試みたところ硫黄分は約 40%減少した。

一方、環境計測では土壌診断用

バイオセンサーが、東京工科大学と産業技術総合研究所および㈱サカタのタネの産学官連携によって実用化されている。さらにエネルギー生産では、微生物を用いた水素製造に関する研究が大学を中心に進められ、光合成微生物利用プロセスによる水素製造の全過程におけるCO₂排出量は、現行の水蒸気改質法と比較し約半分となることがわかっている。

今後、微生物を用いた研究は実用化に向け、処理時間の短縮や分解・除去能の一層の向上などが目指されることになる。また最も研究が進んでいるバイオレメディエーションについては、実地（屋外）での利用に向け、微生物の基

礎的理解や安全性に関する研究について更なる知見が求められる。

微生物利用は物理化学的な方法と比較して、エネルギー消費と

環境への負荷が少ないなどの点から、環境やエネルギー分野において今後さらに研究が進むと期待される。

用語説明

①バイオレメディエーション

微生物を利用した環境浄化。微生物の供給方法により2つの流れがある。1つは、汚染現場に元来生息している土着の分解微生物を増殖させるバイオスティミュレーション (Biostimulation) であり、もう1つは、培養タンク等で分解微生物を培養して汚染現場へ供給するバイオオグメンテーション (Bioaugmentation) である。現在は、前者が主流で、分解微生物を効率よく増殖させるため、汚染現場に窒素・リンといった栄養塩やメタンなどの炭素源を添加する方法が取られている。

②スーパーファンド法

環境汚染の調査や浄化は米国環境保護庁が行い、汚染責任者が特定されるまでの浄化費用を石油税などで創設した信託基金から支出するとした法律。

ナノテク・材料分野

①安全性確保と医薬応用の間で論争されるナノ材料

多くの化学物質は豊かで快適な生活を送る上で必要不可欠なものとなっているが、その一方で、深刻な環境汚染や健康被害をもたらす危険性も有している。化学物質が製造および製品化される際には安全管理が必須であり、生産者が化学物資の安全性に関する情報を提供することが義務付けられている。特に近年、ナノテクノロジーを活かした材料開発の分野においては、研究開発の段階から、労働安全衛生および環境保護などへの配慮が強く求められる傾向にあり、製品化された化学薬品と同じように安全管理を行なう必要性が論じられるようになってきた。このほど、ナノ材料を生産するうえで労働安全衛生をいか

に維持していくかに関する初めての国際会議が英国で開かれた (First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials: 10月12～14日)。

例えば、フラーレン (C60) は、炭素系のナノテク材料のひとつとして種々の応用が期待されており、まだ研究開発途上にある物資であるが、すでに自然環境や人間の健康へ悪影響があるのではないかと論争も巻き起こっている。フラーレンの応用を研究する代表的な大学のひとつである米国ライス大学には、生物環境ナノテクノロジーセンター (CBEN) も設置されており、このほど同センターから、フラーレンの人体へ影響データが発表された (Nano Letters, vol.4, No.10, p.1881 (2004))。純粋なフラーレンは水に不溶であるが、この論文によれば、水中でコロイド (フラーレンが凝集してナノ微粒子になっている状態) を

形成し、20ppb程度の濃度でヒトの皮膚細胞や肝臓腫瘍細胞に対し影響を及ぼす。しかし、フラーレンの表面を水酸基 (—OH) で修飾することにより、水に溶けるようになるとともに、人体への影響力としては10万分の1未満に低減する。また、この論文では、このような影響の発現メカニズムを研究することにより、殺虫剤や抗癌剤を作ることができるとも述べられている。類似の水酸基修飾フラーレンについては、大阪大学大学院とビタミンC60バイオリサーチ株式会社の共同研究チームも、人体に有害な活性酸素の消去能力があることを示し、特許出願したことをほぼ同時期に発表した。

化学薬品や医薬品としての製品化と安全管理において、科学者自身が安全性データ等を準備し、安全基準の指針作りに積極的に参加する態度が求められている。

エネルギー分野

①豪州、米国における地熱発電技術開発の動向

豪州、米国で地熱発電技術開発が進んでいる。地熱エネルギーは、①再生可能、②二酸化炭素をほとんど排出しないクリーン性、③純国産、④他の自然エネルギーと比較してエネルギー密度が高いなどの優れた特徴を有し、既に商業発電が行われ、開発の促進が期待されているエネルギーである。

豪州では、従来の天然熱水・蒸気を用いる地熱発電ではなく、高温で乾燥した岩体からエネルギーを取り出す新しい地熱発電技術を商業化するプロジェクトがシドニー南方で進行している。ジオダイナミクス社は、今年、このプロジェクト第 2 坑井の「ハバネロ 2」の掘削を開始した。第 1 坑井の「ハバネロ 1」は、4,270m 以上の深さで高温岩体に達した。この岩体に高圧水を注入、坑底部付近岩体を破碎して人工の割れ目をつくり、ここで加熱された蒸気や熱水を他方の第 2 坑井から地上に回収し、発電に利用、再び地中に注入する。同社は、破碎した岩体を通る水の流れをモデル化し、スーパーコンピュータを用いたシミュレーションで、利用可能な熱量を予測している。豪州連邦政府は、再生可能エネルギープロジェクト 9 件のうちの 1 件として、2000 年からの約 5 年間で総額 6,000 万米ドルを投資する予定で、この先進地熱発電システムを推進している。

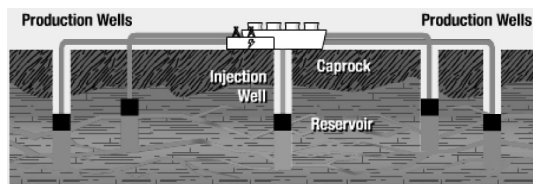
米国では、本年、地熱エネル

ギーの普及促進に関するプログラムを発表し、以下の 3 つの目標を設定して地熱資源開発支援や技術開発支援を実施している。年間 4,000 万ドルを投資していく予定。

- ① 2010 年までに米国 700 万世帯に必要な電力を地熱発電で賄う。
- ② 2006 年までに地熱発電施設を持つ州を現在（カリフォルニア州、ネバダ州、ユタ州、ハワイ州）の 2 倍の 8 州にする。
- ③ 2007 年までに地熱発電コストを 3～5 セント /kWh（注 1）に低減する。

例えば、ネバダ州の ORMAT ネバダ社は、この動きを受けて、ネバダ州内に出力 20MW の先進地熱発電所を 3 つ建設する。同社は、昨年から今年にかけて、既設の「スチームボート・ジオサーマル・コンビナート」や同州に残存する唯一の地熱発電所も買収し、地熱発電事業を活発に展開している。また、米国国立研究所とその連携企業は、地熱発電所の地下から出てくる蒸気や熱水に含まれる有害な湯あかを防ぐポリフェニレン硫化コーティング技術を開発

先進地熱発電システム



<http://www.eere.energy.gov/geothermal/index.html#print#>より

（注 1） 1 ドル 110 円とすると、3.3～5.5 円 /kWh。平成 11 年 12 月総合エネルギー調査会第 70 回原子力部会のモデル試算では、原子力 5.9 円 /kWh、LNG 火力 6.4 円 /kWh、石炭火力 6.5 円 /kWh、石油火力 10.2 円 /kWh、水力 13.6 円 /kWh。

し、熱交換器やその他機器のメンテナンス費用数万ドルを節約できるようになった。2002 年の R&D 雑誌トップ 100 技術にも選ばれている。

日本では、地熱資源調査や技術開発助成が 1997 年から開始されるとともに、2001 年には地熱エネルギーを再生可能エネルギーのひとつとして政策的に位置づけたが、国の予算は水素、風力関連予算が増加したため、2002 年度約 60 億円から 2003 年度約 34 億円と急減している。2010 年の導入目標も 1 次エネルギーの約 0.2%と現状とほぼ変わらない。世界有数の火山国で地熱資源の豊富な日本としても、豪州、米国の先進地熱発電システムプロジェクトの動向を注目していく必要がある。

製造技術分野

① エタノール吸着分離用新材料が提案された

化学合成プロセスや微生物プロセスにより化学品を製造する際、目的とする生成物を副生物や反応に使用した溶媒などから効率的に分離回収することは、製造コスト低減のために極めて重要である。目的物の分離回収には、通常、沸点の差、凝固点の差、溶解度の差などを利用する方法が採用されるが、これらの物性値にあまり差がない場合は、吸着材に対する吸着力の差を利用する吸着分離が利用される場合がある。吸着分離は、吸着材に対する親和力の差あるいは吸着材細孔の形状選択性（細孔に入れるか入れないか）などを利用して分離するもので、窒素／酸素、直鎖炭化水素／分岐炭化水素、パラキシレン／キシレン類などの分離に利用されており、吸着材としては結晶性アルミノシリケート（ゼオライト）が広く用いられている。

再生可能なバイオマス的一种として近年注目されているエタノールは、通常、水との混合液として生産されるが、エタノールと水の混合液から通常の蒸留によりエタノールを分離しようとしても、エタノール純度は96.0wt%以上にはできない。エタノールは、溶剤や化学品の合成原料などの工業用途に多量に使用されているが、その純度は99.5wt%以上であり、また、ガソリンへ添加するエタノールも無水であることが要求されている。そのような純度の高いエタノールを得ようとするれば、特殊な工夫が必要となり、コストが高くなることが避けられない。そのため、効率的なエタノール分離法の開発が望まれている。

東京大学大学院工学研究科の水野哲孝教授のグループは、最近、アニオン性の無機金属クラスターであるポリオキソメタレートと各種カチオンの複合体が特異な吸着性能を示すことを見出しているが、9月27日～30日に開催された触媒討論会において、同グループの

内田さやか助手から、ポリオキソメタレート複合体の一種がエタノール-水混合物から水を選択的に吸着するとの発表がなされた。

アルカリ金属イオン-マクロカチオン $[\text{Cr}_3\text{O}(\text{OOCH})_6(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ -ポリオキシメタレート $[\alpha\text{-XW}_{12}\text{O}_{40}]^n$ を用いて各種結晶性複合体を合成し、アルコールおよび水単独の吸着能を調べたところ、 $\text{Cs}_5[\text{Cr}_3\text{O}(\text{OOCH}_3)_6(\text{H}_2\text{O})_3][\alpha\text{-CoW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 7.5\text{H}_2\text{O}$ が水は吸着するのに対しアルコールを全く吸着しないことがわかった。そこで、エタノール-水混合液について室温で吸着実験したところ、予想通り水のみが吸着され、エタノールは99.9wt%以上に濃縮された。この結果は、代表的な水吸着材であるA型ゼオライトより性能が高い。また、本吸着材は室温で真空排気することにより容易に再生され、再使用可能とのことである。

本研究は未だ基礎的段階にあるが、新しい可能性を有する吸着材として今後の進展に期待したい。

フロンティア分野

① 成層圏観測や微小重力実験を目指す北海道NPOのハイブリッドロケット

特定非営利活動法人（NPO）北海道宇宙科学技術創成センター（HASTIC）は回収型ハイブリッドロケットの打上げサービスを開始した。ハイブリッドロケットとは、固体燃料（プラスチック）と液体酸素を混合して燃焼させる方式のロケットである。10月6日から10日まで横浜で開催された航

空宇宙展（JA2004）において実機が展示され、次々に見学者が来て関心の高さを窺わせた。

HASTICはもともと北海道大学の教官らが設立した任意団体から出発した。北海道に拠点を置き、「宇宙開発の成果を地上へ」、「地域の技術とアイデアを宇宙へ」を標榜し、いわゆる「草の根レベル」の宇宙開発を通じて社会貢献を目指す集団として2003年1月にNPO法人となった。

HASTICが開発したCAMUI型ロケットの主な構成部品は、燃焼

室、液体酸素タンク、燃料供給系、パラシュート開傘装置、ノーズフェアリング、円筒状の機体等であり、燃料のプラスチックにはアクリルを用いる。ロケットの製作には旋盤加工品や市販部品を組み合わせるので、町工場1つでも生産できるという。

ロケットの打上げは北海道大樹町の多目的航空公園で行われ、パラシュートで落下速度を緩和して回収する。既に試験打上げに3回成功している。再使用可能な打上げ回数はまだわからないが、20回

程度を目安にしたいとのことである。ただし、燃焼室とノズルは使い切りである。打上げサービスを利用するには、機体製作費（当初 210 万円と発表）の他に打上げ作業費として 1 回約 100 万円が必要である。

CAMUI 型ロケットは、到達高度が 1,000m で、用途としては学生が製作する CANSAT（空き缶を使用した超小型衛星モデル）の打上げコンテスト用などを想定している。HASTIC では本格的な設計に基づくロケットが法規制をほとんど受けずに打ち上げられることを実証することが目的だとしている。

国立大学法人北海道大学大学院工学研究科の永田晴紀助教授によれば、今回打上げサービスを開始すると発表されたロケットは、安全上の理由から到達高度を 1,000m に制限しているが、今後は成層圏観測（高度 60km、観測機器 4 kg 程度）や微小重力実験（高度 110km、実験機器 10kg、微小重力時間 3 分程度）などへの発展を目指しているとのことである。経済産業省も平成 16 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業のテーマの 1 つとして、成層圏観測などハイブリッドロケットによる

CAMUI 型ハイブリッドロケットの実機モデル（全長 1.6m）

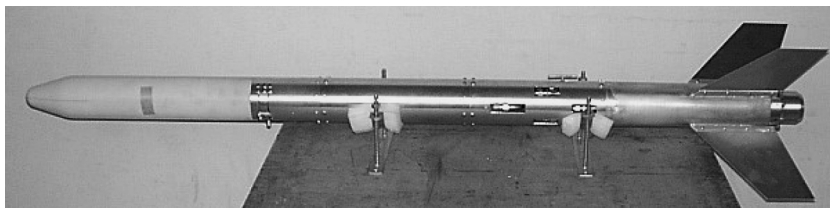


photo by HASTIC

打上げサービスの事業化を支援している。落下塔施設での自由落下や航空機による放物線飛行など他の微小重力実験手段に比べて、はるかに長い連続微小重力時間を得られる実験手段として活用されることが期待される。

このロケットで第一宇宙速度（秒速 7.9km）を得ることは原理的に不可能であり、地球を周回する人工衛星を打ち上げることはできない。永田助教授は、余剰ミサイルを転用したロシアの小型ロケットにはコスト的に勝てないので、衛星打上げクラスの性能までは目指さないとコメントしている。

なお、ミサイル関連技術輸出規制（MTCR）では、500kg 以上のペイロードを 300km 以上運搬できるミサイルを規制対象にしているが、最近では核兵器よりも生物・化学兵器の搭載が危惧されるようになり、ペイロード重量を規定す

る意義が薄くなってきている。微小重力実験クラスのロケットを弾道飛行させると水平で 200km 以上の距離まで飛行しうるので、MTCR の規制対象外ではあるものの、このロケットがテロなどで悪用されることがないように、製品や部品だけでなく技術情報についても適切に管理する必要がある。遠い将来の展望として、重力が地球の 6 分の 1 しかない月面であればハイブリッドロケットで宇宙機を安全に打ち上げることができるという研究も過去に行われたことがある。ハイブリッドロケットによる打上げが事業化される段階に至ったことで、今後の一層の発展が期待される。

HASTIC のホームページ：

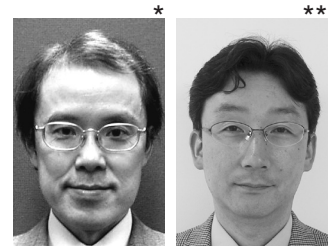
<http://www.hastic.jp/index.htm>

.....

特集①

周波数共用をめぐる技術と政策の動向

客員研究官 山田 肇*
情報・通信ユニット 藤井 章博**



1. はじめに

我々は、ますます無線技術を生
活の中で利用するようになってい
る。すでに、携帯電話の加入者数
は固定電話の加入者数を超えてい
る。パソコンには無線 LAN（ロー
カルエリアネットワーク：Local
Area Network）が標準装備とな
った。ETC（電子式料金徴収シ
ステム：Electronic Toll Collection
System）といった新しい応用分野
も、市場への普及が始まっている。

無線技術を利用するには、周波
数を確保する必要がある。ある周

波数帯域が使用されているとき、
同じ帯域を別の目的に用いると混
信が起きる。混信を避けるために
は、権威ある機関がそれぞれの周
波数帯域ごとに利用者を指定す
べきという考えに基づいて、19 世
紀以来、どの国でも、周波数は政
府によって管理されてきた。

一度、ある周波数の利用が許可
されると、利用者は無線設備を購
入してそれを使用する。ここに経
済的な負担がかかるので、後で利
用許可を取り消すことはむずかし

い。このため、新しく周波数を希
望するものは、高周波へと追いや
られる。しかし、高周波になるほ
ど無線（電波）は直進性を増し、
到達距離が短くなり、利用しづら
くなる。

爆発する需要に利用しやすい周
波数を提供するために、周波数を
共用しようという新しい動きが生
まれている。本稿では、この周波
数の共用をめぐる技術と政策の動
向について紹介する。

2. 爆発する無線需要と周波数管理

我が国で携帯電話の加入者数
が固定電話の加入者数を超えたの
は、2000 年春のことであった。こ
の傾向はその後も継続し、2004 年
3 月末時点で、固定電話の加入
者数は住宅用と事務用を合わせて
5,094 万である。これに対して、携
帯電話の加入者数は PHS（簡易型
携帯電話：Personal Handyphone
System）も含め 8,152 万と、固定
電話よりも 3,000 万も多くなっ
ている。

人々はさらに新しい無線機器を
発見した。無線 LAN である。パソ
コンには無線 LAN が標準装備と
なりはじめた。テレビと周辺機器
との接続などにも利用されている。
これに伴って、市場規模も急拡大

を遂げた。日経コミュニケーション（2003 年 12 月 22 日）によると、
2003 年の市場規模は 484 億円で、
前年より 28% 増加したという。

政府は e-Japan 計画を推進
している。最新の計画である
「e-Japan 重点計画・2004」の中には、
無線技術を活用することによって
「いつでもどこでも何でもつなが
る、ユビキタスネットワークの実
現を目指す」との意思が表明され
ている。「ユビキタス」とは「い
つでも、どこでも」といった意味
を持つ言葉である。電源につなぐ
ラジカセと携帯型音楽プレイヤー
では、利用実感にも利用実態にも
大差がある。「いつでも、どこでも」
利用できる装置は、通信網との有

線接続を無線で代替する方向で実
現される。

これからは、いっそう無線技術
を活用する方向に動くものと考え
られる。しかし、その一方で、無
線通信には混信という問題がある
ため、「周波数は希少資源である」
とされ、その利用は政府によって
厳しく管理されてきた。

ヨーロッパのような陸続き
の国々では、無線は国境を越え
て漏れ出す。これによる悪影響
を防ぐために、周波数の利用に
関する国際的な原則を ITU（国
際電気通信連合：International
Telecommunication Union）で定
め、その原則に基づいて各国政府
が個々の周波数の利用を許可する

* やまだ はじめ ● 東洋大学経済学部 社会経済システム学科 教授

という、国際、国内の二重規制構造が構築されてきた。

1885 年にマルコニーが無線電信を発明した後、1906 年に国際無線電信連合が組織された。これが 1932 年に万国電信連合と合併して、ITU となった。我が国では無線電信法が 1915 年に制定され、それが戦後、1950 年に電波法に改められた。この法律によれば、一

部の例外を除いて、「無線局を開設しようとする者は、総務大臣の免許を受けなければならない」ことになっており、政府による管理が当然視されてきた。

無線 LAN はこの「一部の例外」であって、免許不要帯域と呼ばれる特別の周波数を利用するものである。免許が必要な場合と比較して、管理方法の相違を図表 1 に

示す。

問題は、免許を必要とする周波数が大半で、免許不要帯域が少ないことである。

テレビ放送帯域の合計は 370MHz に達するが、産業科学医療用帯域は 100MHz とそれよりも少ないことが、図表 1 から読み取れる。しかも、テレビ放送では、チャンネル間には周波数の間隙が存在し、テレビ放送というサービスが占有している周波数帯域には充分余裕がある。一方、無線 LAN の利用帯域はすし詰め状態で既に限界に近づいている。政府はテレビ放送をデジタルに移行することによって、テレビが利用する周波数帯域を圧縮しようとしている。しかし、それが完了するまでにはまだ時間を要する。

政府による厳しい管理を継続するだけで、果たして爆発する無線需要を満たすことができるのか。これを最大の論点として、今、各国で政策の見直しが始まっている。

図表 1 2 つの周波数管理方法とその特徴

	免許を必要とする周波数	免許不要の周波数
例	テレビ放送： 90 - 108MHz、170 - 222MHz、 470 - 770MHz 携帯電話： 810 - 850MHz、860 - 901MHz、 915 - 958MHz、1429 - 1453MHz、 1465 - 1468MHz、1477 - 1501MHz、 1513 - 1516MHz、1920 - 1980MHz、 2110 - 2170MHz	産業科学医療用帯域： 2400 - 2500MHz (無線 LAN、電子レンジ、医療機器などが共有)
利用者の指定	● 審査に基づき、特定のものに免許を付与	● 免許を与えることなく、自由に利用させる
利用条件の管理	● 利用目的や利用技術、無線出力などをすべて規制 ● 検査により管理	● 10mW 以下というように無線出力を規制 ● 工場出荷段階で管理

総務省資料¹⁾ 等により科学技術政策研究所で作成

3. 周波数政策の動向

3 - 1

アメリカにおける SPTF の設置

アメリカでは、FCC（連邦通信委員会：Federal Communications Commission）のパウエル委員長の指示の下で、SPTF（周波数政策タスクフォース：Spectrum Policy Task Force）が、2002 年 6 月に組織された。この SPTF は周波数政策のあり方を根本的に見直す使命を持っていた²⁾。

アメリカでは、軍用の周波数利用がすべてに優先する。この結果、我が国で普及が目覚しい第三世代携帯電話にすら周波数を指定することができず、サービス開始は遅れている。一方で、無線 LAN の利用は日本以上に普及が進んでい

る。このような事情から SPTF が組織されたと考えられる。

SPTF は、2002 年 11 月、最初の報告書を提出した。「規則のゆるやかな解釈や、競争入札方式の導入によって、FCC は周波数政策を変更してきたが、周波数に対する爆発する需要に応えるほどのものにはなっていない。消費者が主導する形で新技術や新サービスが導入されるために、90 年続いた規制をどう改めるべきか、タスクフォースは審議を重ねた」と、この報告書の冒頭には書かれている。

競争入札方式とは、もっとも高額で入札をした通信事業者に、ある周波数を、ある目的で使用することを許可するというものである。アメリカでは、古くは 1994 年に PCS（簡易な携帯電話システム：Personal Communication

System）の周波数が競争入札にかけられている。その後、イギリスやドイツでも、第三世代携帯電話システムの周波数が競争入札にかけられた。もっとも高額をつけるということは、それだけのリスクを覚悟して周波数の使用、すなわち事業への参入を希望しているということである。これを市場志向の、あるいは市場原理に基づく周波数配分方式ということがある。

SPTF の具体的提案を図表 2 に要約する。

たとえば軍事目的の無線利用については、この 100 年続けてきたように、政府が強権的に周波数を指定するのが適切である。一方、携帯電話システムのように多くの通信事業者が事業参入を希望する場合には、競争入札にかける。部分的には周波数コモンズという共

有帯域を設けてもよい。これが、複数の規制モデルの並存という考え方の基になっている。

「コモンズ」は通常、共有地と翻訳されるが、我が国では古くからの慣行である「入会権」を連想すれば理解することができる。入会権は「雑木・雑草を薪などに使用するため、一定の山林原野（入会地）を住民が共同で利用する権利」であって、民法にも記述される慣習上の権利である。

どの住民も入会地に立ち入り、雑木・雑草を採集することができる。だからといって根こそぎ採集すれば、他の住民に大きな迷惑をかける。採集には節度が必要である。周波数コモンズも、誰もが利用することができる。しかし、だからといって無線機の出力をむやみに上げると、他の通信に混信する。ここでも節度が必要である。無線 LAN は周波数コモンズを利

用する技術であるが、同様に共有財産を皆で活用するための責任が課せられている。

FCC のパウエル委員長は、SPTF の提案にさっそく賛成の意思を表明した。

SPTF の報告に続いて、2003 年 6 月にはブッシュ大統領が SPI（周波数政策イニシアティブ：Spectrum Policy Initiative）を開始することを宣言した。SPI は商務長官が主導し、FCC も参加する政策議論の場である。こうして、アメリカは周波数規制の抜本的な見直しに動き出している。

このような議論が続く間にも、FCC は周波数の共有という観点から具体的に新しい規制モデルの導入を進めている。

2004 年 6 月には、低軌道衛星通信について、CDMA（符号分割多重化：Code Division Multiple Access）と TDMA（時分割多重化：

Time Division Multiple Access）という 2 つの技術で 1.6GHz 帯域を共用することを許可した。どのようにして共有を実現するかは、それぞれの技術を使用する通信事業者同士の話し合いにゆだねられた。これは政府の介入を最小限にしようという意図に基づいている。

また、7 月には、免許を与えた周波数を有効活用するために、他者にリースするというメカニズムを実現する目的で、周波数の「二次市場」の創設に動いた。前述の競争入札市場を「一次市場」とすれば、そうして獲得した周波数を「市場価格」で他者にリースするので「二次市場」というわけだ。

さらに衝撃的な施策として、900MHz 以下のテレビ放送用周波数帯域について、空きチャンネルを無線ブロードバンド・サービスに活用しようという提案が、2004 年 5 月に行われた（FCC DA 04-341）。このことについては、後で再度説明する。

図表 2 周波数政策の抜本的見直しの提言（要約）

- ①周波数を徹底的に利用しようとしても、それは、過去には混信によって制限されていた。しかし技術の進展によって、今、それは問題ではなくなり、より周波数使用効率が高い新システムが利用できる状況となった。
- ②しかし、旧来の免許付与型の周波数規制を続けることによって、多くの周波数帯域で利用者が制限されている。
- ③周波数規制は、より柔軟で、また市場志向の方向に改善していくべきである。
- ④特に混信や干渉の防止という観点で、免許者と免許不要者（無線 LAN のように、免許を取らなくても利用できる周波数コモンズの利用者のこと）の権利と責任を明確に定義することから、新しい規制モデルを構築すべきである。
- ⑤たった 1 つの規制モデルを、すべての周波数帯域に適用すべきではない。占有周波数を市場原理に基づいて付与するという仕組みと、周波数コモンズを創造してそこを自由に利用させる仕組みと、旧来の免許付与型の規制方式を並存させるべきである。
- ⑥新しい周波数だけでなく、すでに配分された周波数についても、新しい規制モデルを適用すべきであって、後者については旧来の規制からの移行メカニズムを作るべきである。

SPTF 資料に基づき科学技術政策研究所で作成

図表 3 「電波政策ビジョン」における周波数政策見直しの提言（要約）

- ①周波数の利用状況を調査し、その結果を公表することや、既存の免許人が受ける経済的な損失を埋め合わせるための給付金制度を創設することによって、周波数の迅速な再配分の制度を整備する。
- ②周波数の競争入札制度は入札額の高騰を招く恐れがあるため、むしろ透明かつ公正な比較審査方式を創設して、周波数利用の透明性を確保する。
- ③免許不要局として小電力の周波数コモンズを拡大していくと共に、地域独自の周波数割り当てを行うなどして、周波数割り当ての柔軟性を向上する。

電波政策特別部会資料に基づき科学技術政策研究所で作成

3 - 2

日本の「電波政策ビジョン」

我が国で SPTF と同様に活動してきたのが、情報通信審議会の中に設置された電波政策特別部会である。

この部会は 2002 年 9 月に初会合を開催し、2003 年 7 月に最終報告を提出している。報告は「電波政策ビジョン」と名づけられ、周波数の再配分・割り当てについて図表 3 に示す提案を行っている³⁾。

この部会報告に述べられた方向性には、周波数コモンズの拡大のようにアメリカと共通する要素がある。しかし、アメリカが市場主義をうたうのに対して、競争入札制度の問題点を指摘することなど、日本独自の主張も盛り込まれている。このことは大きな論点で

ある。しかし本稿の目的は政策比較ではないので、これ以上の言及は避ける。

その後、総務省は 3.4GHz 以上の周波数について実施した利用状況調査の評価結果に基づいて、具体的な周波数の再編を円滑かつ着実に実行するためのアクションプランを 2004 年 8 月に公表した。このアクションプランには、たとえば、3.4 から 3.6GHz の周波数帯域について「現在、映像・音声通信用等に利用されているが、移動通信システムの利用に適し

ているので、音声系は他の周波数帯域のシステムへの移行について検討する」と書かれている。また 5.25 から 5.85GHz の周波数帯域は船舶レーダーや気象レーダー等に利用されているとした上で、「無線 LAN と周波数を共用させることが適当である」との見解が表明されている。

このように、総務省は、周波数の再編成やコモন্ズの拡大という、電波政策特別部会の提言を実現する方向に動いている。

また第三世代携帯電話に活用す

るという理由で、800MHz 帯域の周波数再配分計画を発表し、2004 年 8 月に意見を募集したところ、既存の携帯電話会社中心の再配分計画に対して一部の通信事業者から異議が出されたことは記憶に新しい。

今まで説明してきたように、アメリカでも日本でも周波数を共有して、コモন্ズとして利用しようという政策が動き始めている。次節では、それに関わる技術動向を紹介する。

4. 周波数共用技術の開発動向

本節では、無線システムに関連する技術動向のうち、特に周波数の有効利用に呼応する技術動向を概説する。文献によると、周波数の有効利用の観点からは、①周波数 5 GHz 帯域の再編成、②新しい方式である超広帯域無線システムの導入といった研究開発項目が重要であると指摘されている⁴⁾。

①は無線 LAN の高度化に関連する研究開発である。これはインターネットの機能を無線システム上で実現するものである。②は UWB (超広帯域無線システム: Ultra Wideband) である。通信システムは階層的に構成される。UWB 技術は、音声を含むデジタルデータ伝送を行うための物理的な通信環境を提供する技術であり、新しいプラットフォームとして期待できる。

なお、本稿では言及しないが、こうした新たなサービスの実現には、無線技術だけでなく、QoS (通信のサービス品質: Quality of Service) の保障や、端末のアドレッシング、ルーティングのありかた、セキュリティの保障などの技術上の課題を同時に解決しなければならない。

4 - 1

無線 LAN における周波数共用技術の位置づけ

①無線 LAN 技術の概要

5 GHz 帯域の再編による周波数の有効利用は、IEEE (米国電気電子協会: Institute of Electrical and Electronics Engineers) で技術が検討され、標準化されている。世界からこの標準化の作業に参加しているので、この標準体系が国際標準とみなされている。

無線 LAN は、ローカルエリア

ネットワーク (LAN) 技術の一種である。システムは、インターネットにおけるデータ伝送のための規格である IP (インターネットプロトコル: Internet Protocol) の物理的・設備的仕様を満たさなければならない。

無線 LAN の構築はオフィス内に留まらず、商業地域などでの特定の場所 (ホットスポット) でも利用されている。また、移動中のコンピュータその他の端末の通信制御にまで、技術は進展している。こうした無線 LAN 技術に関する開発要求の高まりを背景として、

図表 4 IEEE802.11、15、16 委員会におけるワーキング・グループ (一部)

ワーキング・グループ		検討項目
TG11	a	5 GHz 帯域 OFDM による 54Mbit/ 秒の物理層
	b	2.4GHz 帯域 CCK による 11Mbit/ 秒の物理層
	c	802.1D ブリッジ仕様の 802.11 用拡張
	g	2.4GHz OFDM による 54Mbit/ 秒の物理層
	i	セキュリティの拡張
	j	日本の 4.9GHz 規格に対する仕様
	n	次世代無線 LAN
	p	列車や DSRC などを配慮した高速移動システム
TG15		近距離ネットワーク PAN 用規格の標準化
TG16		2 ~ 11GHz 帯域のうち免許を必要とする周波数帯域の標準、WiMAX

IEEE の情報により科学技術政策研究所で作成

日本でもアメリカでも周波数規制のあり方について、緩和に向かっての動きが始まっている。

② IEEE802.11 規格と各対象分野

IEEE の 802 委員会ではワーキング・グループで、個別の要素技術に関わる検討から標準化までを行っている。図表 4 は、802 委員会の下部組織として活動している標準化作業の一部を示すものである。802.11 に加えて、802.15、802.16 についても示してある⁵⁾。

③無線 LAN における周波数共用

多くの利用者が一箇所で同時に無線 LAN を利用したときには、混信が起きる危険がある。これを避ける技術が「キャリアセンス」である。

無線 LAN (802.11b) では、2.4GHz の帯域内に、20MHz 幅で最大 14 のチャンネルを設定できる。このうち、3つのチャンネルが同時に利用できる。データの送信の前には、チャンネルの空きを確認する「キャリアセンス」を行ない、空いているチャンネルを利用する。これが CSMA/CA (搬送波感知多重アクセス / 衝突回避方式: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) である。これによって、混信が防止される。

さらに、電波を出すタイミングを割り当てたり、うまく通信できなかったときには、決まった手順で再送信したりといった一連のルール、すなわち、無線アクセスプロトコルが定められている。

無線 LAN の場合には、データは「パケット」と呼ばれる「ひとかたまり」にまとめて送信される。その発生周期や長さは通信ごとに異なるので、様々なパケットをうまく組合せて効率的に対応することにより高速なマルチメディア通信が可能となっている。

図表 5 WiMAX (IEEE802.16) 規格の概要

周波数帯域	<11GHz 2.5、3.5GHz (免許要) 5.8GHz (免許不要)
伝送速度	最大 75Mbit/ 秒 (バンド幅 20MHz)
利用形態	固定 (屋外 / 室内設置)
セルサイズ	半径約 6 ~ 10km (最大到達距離 50km、タワーの高さや位置によって異なる)

インテル社の資料⁶⁾をもとに作成

4 - 2

WiMAX とオーバーレイ

普及が進んできた無線 LAN は数メートルから数十メートルの範囲を通信エリアとする技術であって、家庭やオフィスで活用が図られてきた。これに対して、数キロメートルを通信エリアとする無線技術として開発されているのが、WiMAX (マイクロ波アクセス回線のための国際相互運用: Worldwide Interoperability for Microwave Access) である。

WiMAX 技術についても、先の図表 4 に示したように、IEEE で標準化が図られており、その標準化を担当した委員会の名称を取って、802.16 系の技術と呼ばれることがある。

802.16a は、すでに 2002 年 1 月にリリースされ、現在はその改良版の標準作成が進められている。

図表 5 に 802.16a 規格の概要を示す。図表 5 のようにバンド幅を 20MHz とすれば、最大 75Mbit/ 秒の、5MHz を 1 チャンネルとした場合には 15Mbit/ 秒程度の通信速度が実現する。したがって、ADSL (非対称デジタル加入者線: Asymmetric Digital Subscriber Line) よりも少し速い程度のサービスに適用できる。ちなみに ADSL は 40Mbit/ 秒以上を宣伝しているが、それは公称値であって、局舎より 1 キロメートル以上離れば、数 Mbit/ 秒以上の速度は期待できない。

すでに、各社は WiMAX 規格に準拠した製品の開発に動いており、2005 年には製品が市場に投入されるものと予測されている。また、WiMAX は固定通信向きの技術であるが、移動通信にも利用できる方向での改良も始まっている。

この WiMAX に関連して、「オーバーレイ」が検討され始めている。これはすでに免許を持った利用者がいる周波数で、他の利用者が無線を利用する仕組みである。CSMA/CA と同様の技術と見なしでよい。本稿で WiMAX に注目したのは、WiMAX にこのオーバーレイを適用しようという動きがあるからだ。

オーバーレイ技術の主要なターゲットはテレビ放送の周波数帯域である。テレビ放送では、実際には使用していないチャンネルが多くある。空きチャンネルは地域ごとに異なるので、それをダイナミックに検出して、活用しようという提案がなされている。仮にある周波数が既存の免許者によって使用されていても、それをキャリアセンスしたら、即座に別の周波数へ移動するようにできているので、混信が問題になることはない。

このように、空きチャンネルを自動検出する「頭脳」があるので、スマート無線、あるいはアジャイル無線とも呼ばれることもある。また、周波数が利用されていない時間を有効利用する技術を認知無線と呼称するグループもあり、このあたりの名称は定まっていない。

テレビ放送の周波数帯域は双方

向のデータ通信やインターネット・アクセスに適している。すでに説明したように、FCC はオーバーレイの利用について意見募集を開始した。これに呼応して機器メーカーはデモンストレーションも行っている。

4 - 3

周波数拡散通信と UWB

通常、無線通信には、狭帯域システムが用いられる。チューナー（無線機のダイヤル）を回して信号のある帯域を探す経験をされた方もあるだろう。チューナーが搬送波周波数と一致するとクリアな信号が入る。

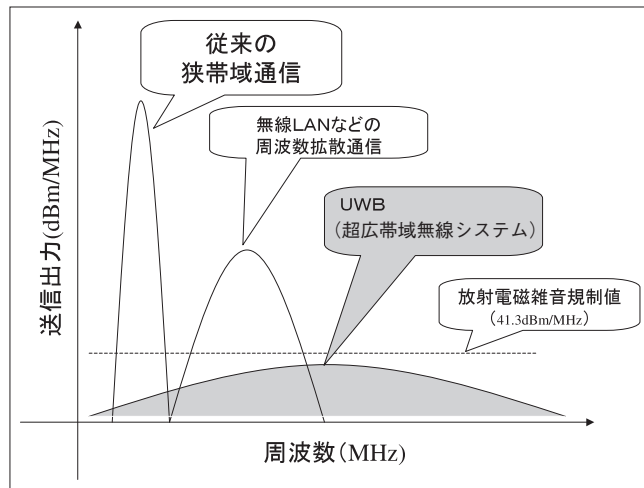
一方、周波数拡散通信では、信号が 100MHz 以上の広い範囲に拡散されている。その代わり周波数ごとの電波の強さ（送信出力）は弱いので、無線機はノイズと誤解する。こうして通信が秘匿できる。

図表 6 は、利用する周波数と送信出力の関係について概念的に示したものである。周波数拡散通信の周波数幅を極端にまで広げたのが UWB で、それも図中に示してある。また、図中の「放射電磁雑音規制値」は、ほかの無線機にはノイズとしてしか受信できない値である。この値以下であれば、今までの狭帯域通信には一切迷惑をかけず、共存できるというわけだ。

周波数拡散通信の技術は、第二次大戦中の 1942 年に特許化された。しかし、この特許は、時代背景もあり、実用化の糸口をつけられなかった。その後も周波数拡散通信は、軍事的な用途のみを想定して開発が進められてきた。

1985 年になって初めて、RS-232C (232C 標準インタフェース: Recommended Standard 232 C) というパソコン用インタフェースにこの技術を採用することが試みられた。これは必ずしも商業的な成功は勝ち得なかったが、それ以

図表 6 超広帯域無線システムの原理



科学技術政策研究所で作成

後、技術の民生利用が加速していった。

広く利用されている例としては、音楽コンサートなどで用いられる楽器への応用がある。MIDI（楽器用デジタル・インタフェース: Musical Instrument Digital Interface）音源の無線接続用に周波数拡散通信が利用されているのである。

無線通信においては、ノイズレベル以下の出力で信号を出しても、他の機器に迷惑をかけることはない。このことはすでに説明したが、このように小さな送信出力を用いることが、周波数拡散通信の第一のポイントである。

次に、周波数拡散通信が同時に2つ以上利用されている場合を考えよう。このときの混信を避けるために用いられるのが、暗号化である。送信する情報を暗号化して、正しい相手以外には内容が漏れないようにすること、それが第二のポイントになっている。

国際色豊かなパーティの会場にたとえると、会場には英語、日本語、中国語と各国の言葉が飛び交っている。韓国語の会話の隣でフランス語が話されている。しかし、いずれかのグループが大声で話し出して他を妨害しはじめない限り、会話が途切れることはない。許される声の大きさの限界が、第

一のポイントに相当し、放射電磁雑音規制値によって表現される。一方、各国の言葉が、周波数拡散通信における暗号という第二のポイントに相当する。その言語がわからなければ、会話も理解できないというわけだ。暗号のセットを何種類も用意して、別の暗号を用いるようにすれば、複数の通信を分離できる。

こうして、周波数拡散通信によって、異なる無線通信の同時共存状態が実現する。

周波数拡散通信を基礎として、CDMA 技術が開発され、第三代携帯電話に採用されている。さらに、無線 LAN でも周波数拡散通信が利用されようとしている。

また、UWB 技術が脚光を浴び、実用化にむけて研究開発が進んでいる。これには FCC が 2002 年 2 月に、UWB 製品の販売等を制限つきで認めたということも影響している。

2004 年 5 月には京都で UWB に関する国際会議が開催された。数百 Mbit/ 秒の高速性が報告され、またこれを支える LSI チップセットが、来年にはおよそ 10 ドルで販売されるであろうという観測も流れている。

ひとたびチップセットが出来上がれば、小さな機器に仕上げることは簡単である。USB（汎用

シリアル・バス：Universal Serial Bus) 端子をつけた小さな容器の中にフラッシュメモリを収めたUSBメモリが、パソコンの補助記憶として利用されている。これと

同様に、USB 端子をつけた容器にチップセットを組み込めば、パソコンの通信手段を UWB に置換することは容易である。

独立行政法人・情報通信研究

機構が、UWB の実用化技術の開発に乗り出すとの新聞報道もある(日本経済新聞、2004年10月22日)。わが国の研究開発も、本格化し始めている。

5. 研究開発と政策に関する提言

ここで触れた技術課題は、今後の発展と広がりが予想される無線システムのごく一部である。この分野の研究開発は、多岐にわたり、新しく登場する研究開発ニーズも多い。ここでは、こうした特徴のある分野の研究開発において重要であると考えられる点を述べる。

①無線技術の特徴

その周波数が利用できるとなって、はじめて無線技術は実用に供される。これは別の見方をすれば、将来周波数が利用できるということが見通せなければ、開発のための資源の投入に結びつかないということである。このように無線技術の研究開発の場合には、周波数政策が大きな影響を与える。技術開発が政府の規制の直接的影響を受けるというのは、情報通信の分野では無線技術に固有の特徴である。

冒頭で述べたように、ユビキタス社会を実現する鍵となる技術の1つが無線技術である。この無線技術をさらに発展させていくためには、政策当局が、オーバーレイ技術や UWB 技術の将来展開の方向性を具体的に示すことが有効であろう。

無線技術の研究・開発を支援する技術政策は、技術の様相の変化に合わせて、規制政策と連動する形で積極的に見直すことが望ましい。例えば、上述した UWB 技術が広範に用いられるようになれば、「特定のシステムには特定の周波数の利用を許可しなければならない」といった旧来の規制概念

は不要になる。新しい規制は、無線機器の出力など向けられるべきであり、周波数帯域の規制から電波出力への規制に規制政策の要点が転換する。そして、研究開発はこれに従って進展する。

ある技術分野においてフロントランナーとして研究開発を進めていくためには、政策自体を総合的に見なおす必要があるというのは、無線分野に限られる話ではないかもしれない。いずれにおいても、新しい技術的要因の特性を踏まえて政策を立案していくことが求められている。

②研究の方向性と分担の明確化

携帯電話の利用が急激に拡大した 90 年代中盤に、通信方式に関する国際会議で、無線通信分野のある研究者が「やっと最近日の目をみるようになった」ともらしていたのが印象にある。汎用的な基礎研究の継続性の大切さを実感する言葉である。変調方式など通信工学の基礎から、インターネットの通信メカニズム、標準化に関する知識、端末の利用形態等々幅広い知識の蓄積の根底には、大学院レベルでの人材育成と関連する基礎研究がある。

また、前述の情報通信研究機構における無線技術の研究では、大学教授が主導的な役割を果たしている。UWB 結集型特別グループのリーダーが河野隆二横浜国立大学教授であるのは、その一例である。基礎研究から実用化への道をつなぐ試みとして注目される。

一方、短期間で新しい応用分野

が現れる領域においては、市場性を意識した研究開発が求められる。特に無線システムには、ビジネス上の覇権をめぐって凌ぎを削る競争があり、最終段階では市場性を獲得することが強く求められる。

そこで、大学や公的機関の実施すべき研究開発と民間の事業者が積極的に行うべきものを明確に峻別し、最も適した形態と目標設定を行うことが重要である。

③規制緩和と研究開発の振興

無線技術を実用に供していく段階では、実践的な実験が行える環境の整備が重要である。わが国では屋外実験を行おうとするものは、個別に免許を得なければならない。その免許には、例えば「当該周波数で1分間、ほかのレーダーの存在の有無の検査を行ったうえで、存在する場合には、10秒以内に電波をとめる」といった細かな条件が付与されている。この種の規制は、すでに周波数を利用するものの保護を優先したものであって、研究開発上は支障をきたす。

そこで考えられるのが、人口数千人規模の離島を無線特区として活用するというアイデアである。この特区では、携帯電話、漁業無線などが実際に使用されている環境で、新システムが妨害を与えないかを実験する。都心などに比べれば万一迷惑をかけても被害は最小限にできる。このような実験環境があるとなれば、無線機器メーカーが恒久的な実験施設を設けたり、通信関係の大学が拠点を築いたりして、特区に経済的な利益が

もたらされる可能性がある。

すでにアメリカでは先住民居住区など、実験が外部に与える影響が少ない環境を積極的に利用しようという動きもあるという。我が国も特区制度を活用するなどして、無線実験の環境を整備していくことが重要である。

参考文献

- 1) 総務省、「電波利用ホームページ」：
<http://www.tele.soumu.go.jp/index.htm>
- 2) Spectrum Policy Task Force に関する情報：
<http://www.fcc.gov/sptf/>
- 3) 情報通信審議会・電波政策特別部会、「中長期における電波利用の展望と行政が果たすべき役割—電波政策ビジョン—」：
http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030730_5a.html
- 4) 情報処理学会、「無線 LAN 技術を利用したインターネットの構築」、『情報処理』、Vol.45, No. 8、(2004 年 8 月)
- 5) IEEE のウェブサイト：
<http://www.ieee.org>
- 6) インテル社のウェブサイト：
<http://www.intel.co.jp>

.....

特集 2

石炭利用・クリーン化技術の最新動向と今後の展望

—クリーンコールテクノロジーに注目して—

環境・エネルギーユニット 大平 竜也



1. まえがき

石炭は燃料および鉄鋼の原料として、18世紀の産業革命以降、産業の原動力として大きな役割を果たしてきた。1960年代のエネルギー革命により、石炭はその王座を石油に譲ることになったが、1970年代の2度にわたる石油危機を契機として、世界的に石炭の見直しの気運が高まった。石炭は埋蔵量が豊富で、埋蔵地域も先進国を中心に広範囲に分布していて供給安定性が高く、また経済性においても優れている。わが国においても、その脆弱なエネルギー需給構造の改善を図るために、石炭は石油代替エネルギーの重要な柱として位置付けられ、安価な海外炭の輸入増大により、その利用の拡大が図られてきた。

現在、わが国は、年間約1億5,000万トン（2000年時点）の石炭を消費しており、日本の一次エネルギー供給に占める石炭の割合は、2000年度約17.9%である¹⁾。2004年10月の長期エネルギー見

通しでは、2010年および2030年に石炭が国内の一次エネルギー供給に占める割合はそれぞれ約18.0%、17.0%となる見通しであり、今後とも主要なエネルギー源として位置づけられている²⁾。

しかしながら、他の化石燃料に比べて、石炭は単位発熱量当たりの二酸化炭素（CO₂）排出量が相対的に多い。地球温暖化、酸性雨等の地球環境問題に対する関心の高まりを背景に、硫黄酸化物、CO₂等の発生を抑制する環境調和的利用や発電分野などにおける石炭利用効率向上が求められている。一方、日本では、技術移転目的以外に国内炭の商業生産を行っておらず、石炭のほとんどを海外からの輸入に依存している。アジア太平洋域での石炭需要拡大という状況の中、海外炭のわが国への安定供給確保も重要課題となっている。

このような最近の情勢に対応して、環境調和的な石炭利用技

術（クリーンコールテクノロジー、CCT：Clean Coal Technology）の開発や石炭安定供給の維持・強化に向けた環境整備を積極的に推進する必要性が高まってきた。本年1月からは、資源エネルギー庁のもとでクリーン・コール・サイクル（C3）研究会が開催され、6月には中間とりまとめがなされた。科学技術動向月報7月号では、日中間のエネルギー・環境問題を解決するべく中国へ移転可能な技術のひとつとして、CCTの重要性も述べた³⁾。本稿では、石炭需給動向やCCTの技術概要、日米欧の開発動向ならびに日本におけるCCT推進上の課題をまとめ、今後の政策展望を述べる。石炭の現状について、第2章に、CCTの概要、技術内容に関しては第3章にまとめる。日本、米国、欧州の技術開発動向を第4章に、第5章に今後の課題と政策提言を記す。

2. 石炭の現状

ここでは、石炭の特徴と石炭の需給見通し、エネルギー政策における石炭の位置づけについて述べる。

2-1

石炭の特徴

石炭は、他のエネルギー資源に比べて、独特の資源的・経済的優位性を有する。図表1は、主な資

源の確認可採埋蔵量と可採年数を示す。石炭は、他のエネルギー資源に比し圧倒的に巨大な埋蔵量を有す。BP統計2003によれば、可採年数は200年を超えると推定され、長期にわたる安定供給が期待できる。これに対し、石油及び天

然ガス、ウランの可採年数は、それぞれ約 41 年、61 年、61 年である。

エネルギー価格に関しては、これまで、石油価格と天然ガス価格は乱高下を繰り返しながら連動して変動し、長期的には上昇傾向にある。これに対して石炭価格は、オイルショックをはさんで僅かに高騰傾向を示したものの、この 30 年間ほぼ一定レベルで安定的に推移している。熱量あたりの価格は石油価格に比べて半分以下で、価格低廉性と長期安定性は、石炭の有する経済的メリットである。

図表 2 は、化石エネルギー資源の確認可採埋蔵量の地域別分布を示す。石油は、中東地域の埋蔵量が極めて高く、天然ガスは、中東、旧ソ連という 2 地域に大きく依存しており、資源供給という点で政

治的、社会的不安定要因を抱えている。一方、石炭は、アジア・太平洋地域（全体の 30%）をはじめ、北米、旧ソ連、欧州等に分散しており、その供給は、政治的、社会的変動に対し安定している。

石炭には、前述のような資源的・経済的メリットがあるが、他の化石燃料に比べて、炭素含有率が高いため、燃焼により発生する CO₂ 排出量が多いという課題もある。単位熱量当たり CO₂ 排出量比は、天然ガス、石油、石炭の順に 1.0、1.2、1.5 で、石炭の地球環境への負荷が最も大きい。発生した CO₂ の回収・処分が必要になる。さらに、石炭の燃焼では、大気汚染や酸性雨の原因となる硫黄酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x) ならびに灰が発生するため、適切

な排ガス処理技術や石炭灰の有効利用が必要になる。

また、電力、鉄鋼その他産業分野に利用される石炭は、そのほとんどが、現在、高品位炭（瀝青炭、無煙炭）⁴⁾ で、図表 1 からわかるように、確認可採埋蔵量の約半分にすぎない。低品位炭（亜瀝青炭、褐炭）の有効利用も課題である。

2 - 2

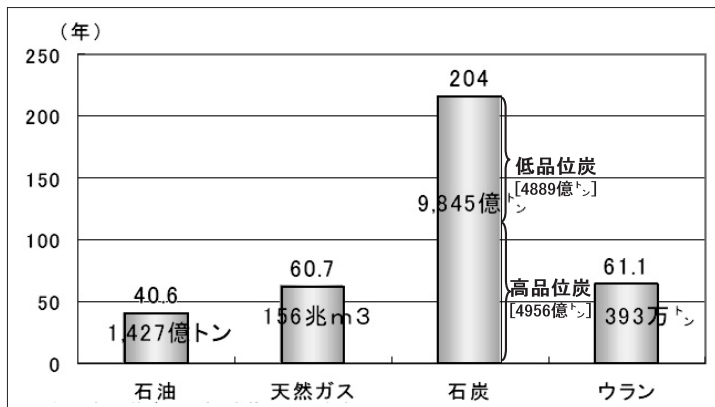
石炭の需給動向

2002 年における世界の石炭生産量は、約 50 億トンで、1980 年代からほぼ一定した高い生産レベルが維持されている。地域別にみると、石炭への依存度が高いアジア・太平洋地域における石炭生産量が次第に増大し、特に、2000 年からの増大傾向が顕著である⁵⁾。これは、同地域における石炭消費量の増大に対応するものである。その他の地域においても、生産量が漸減しているヨーロッパ・ユーラシア地域を除いて、横ばいあるいは増大の傾向にある。

日本を含むアジア主要国の今後の需給見通しでは、図表 3 に示すように、アジア諸国における石炭の需要は着実に増大する一方、アジア域内需要の大半は引き続き豪州を含めたアジア域内の産炭国により満たされると見込まれている。域内各国とも石炭の需給安定や効率的利用について重大な関心を有する。

図表 4 は、日本の部門別石炭消費の推移を示す⁶⁾。電力部門における一般炭需要が、1991 年度以降 2002 年度まで平均 7% の伸びで 3,800 万トン増加しているのに対して、鉄鋼用の原料炭需要は、1980 年度以降概ね 6,500 万トン前後で安定的に推移している。その他セメントなどの一般産業部門では、多少の増減は見られるものの、平均すると、約 2,300 万トンの需要を維持している。

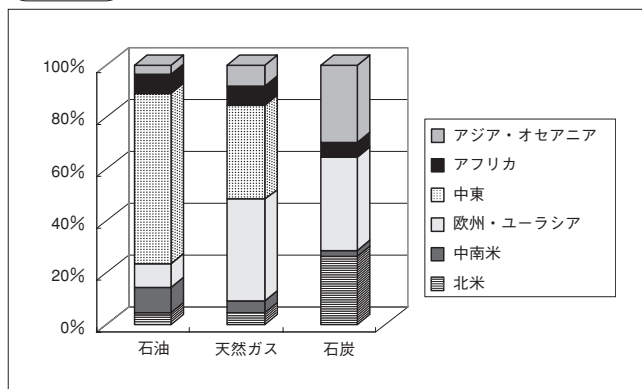
図表 1 主な資源の確認可採埋蔵量と可採年数



※石油、天然ガス、石炭の数値は 2002 年末、ウランは 2001 年 1 月 1 日現在。石炭の高品位炭（瀝青炭、無煙炭）と低品位炭（褐炭、亜瀝青炭）の確認可採埋蔵量は、文献¹³⁾ データをもとにした推計値。

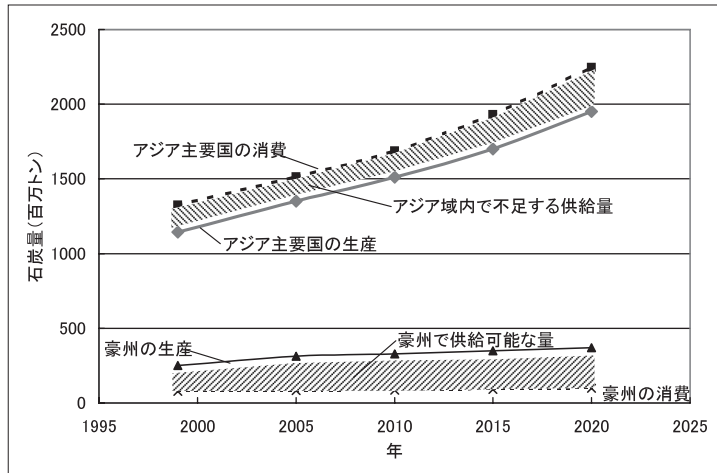
BP 統計 2003、OECD/NEA、IEA「URANIUM2001」より科学技術動向研究センターにて作成

図表 2 化石資源の確認可採埋蔵量の分布



BP 統計 2003 より科学技術動向研究センターにて作成

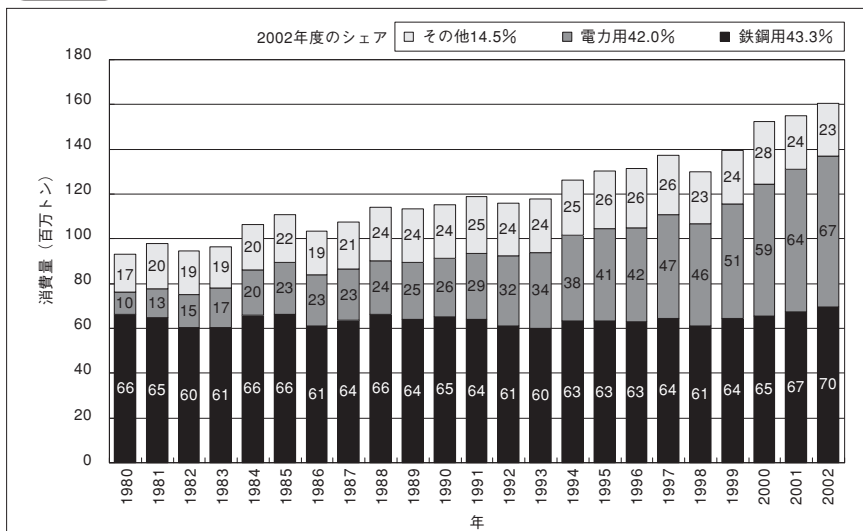
図表3 アジア主要国の石炭需給見通し



※石炭 1 kg = 6,000kcal とし、石油換算 1 トンを石炭 1.645 トンとして計算。
アジア主要国は、日本、中国、韓国、台湾、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムでインドを含んでいない。

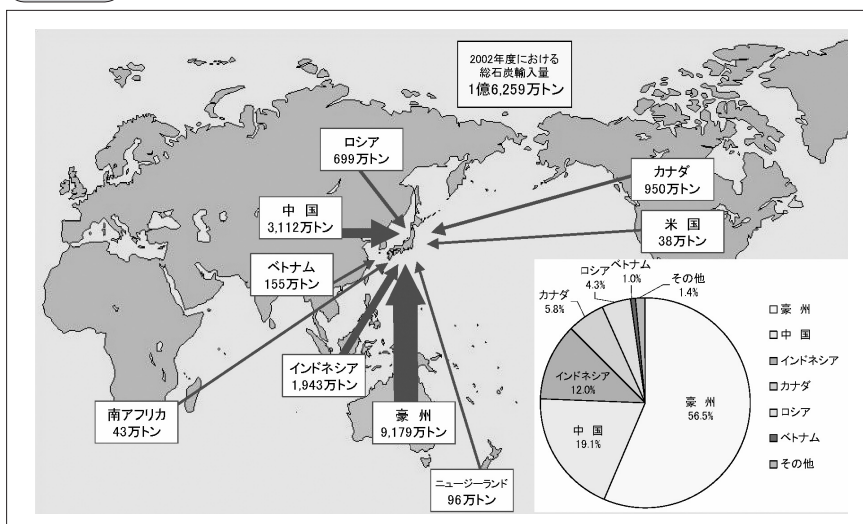
APERC, “APEC Energy Demand and Supply Outlook 2002”, 2002 をもとに
科学技術動向研究センターにて作成

図表4 日本の部門別石炭消費の推移



参考文献⁶⁾より

図表5 日本の国別石炭輸入量



参考文献⁶⁾より

日本の石炭供給における海外炭比率は、1980 年代 80% 台で推移したが、輸入炭の増加と国内炭生産減少に伴い、2002 年度で 99.2% となった⁶⁾。図表 5 に示すように、2002 年度において全石炭輸入量の 56.5% を豪州一国に依存し、その他の輸入元は、中国の 19.1%、インドネシアの 12.0%、カナダの 5.8%、ロシアの 4.3% と続く。上位 3 カ国からの石炭輸入量は、全体の 85% 以上を占めている。

この石炭供給の課題のひとつが、豪州、中国、インドネシアにおける石炭輸送インフラ（鉄道、輸出を含めた港湾設備など）である。豪州ニューカッスル港では、2004 年 3 月に、鉄道輸送の問題で 50 隻以上の滞船が発生した⁵⁾。今後の石炭輸出量拡大を考えると、抜本的な石炭輸出インフラの整備、拡張が必要である。

2 - 3

石炭の位置づけ

上記のような特徴を有する石炭の資源エネルギー政策上の位置づけは、他のエネルギー源と比較した相対的な利点と課題の大きさによって決まる。地球環境問題が進行するにつれて、石炭の環境的デメリットがクローズアップされているが、2 - 1 節で述べたように石炭は、極めて多くの資源的・経済的メリットを有する化石エネルギーであり、現在はもちろん長期的な将来においても、人類にとって有効なエネルギー資源のひとつである。今後、CCT の技術開発を進めることにより、中長期的には環境にも優しいエネルギー源として、バランスの取れたエネルギー供給構成の中的有力な選択肢となることが期待される。

3. クリーンコールテクノロジー (CCT: Clean Coal Technology)

ここでは、環境と調和した CCT がどのような技術で構成されるのか、その概要と技術内容を述べる。

3 - 1

概 要

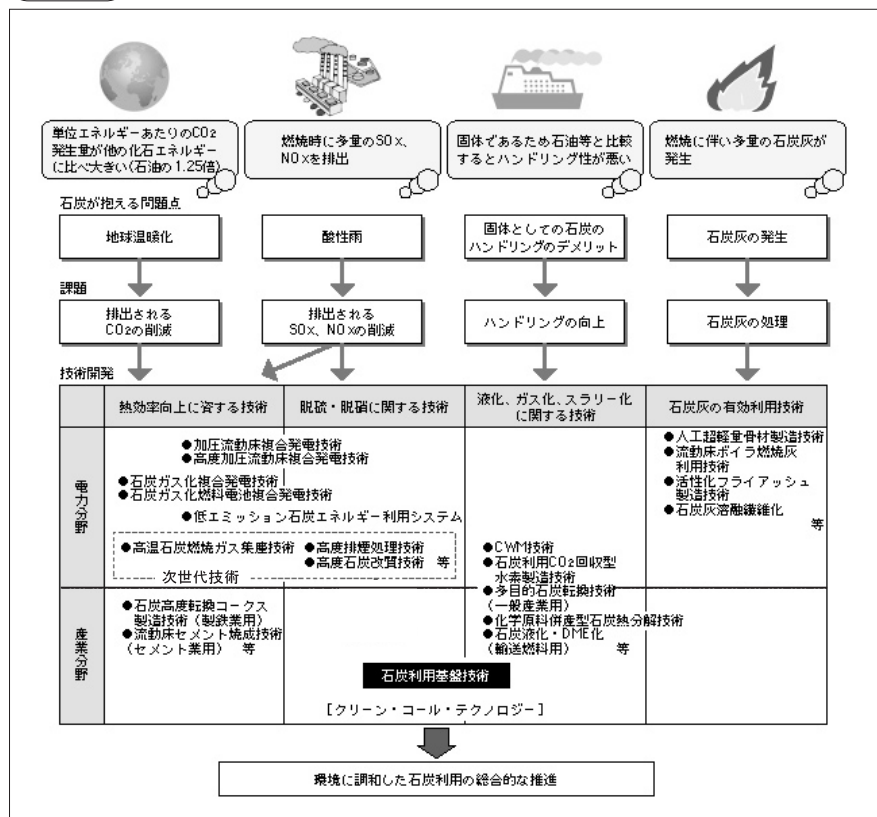
国内石炭需要については、電力分野と鉄鋼分野が、約 4 割ずつを占め、それぞれ CCT の導入可能性はある。石炭火力発電の電力分野では、2002 年度末設備容量が 3,377 万 kW (計 78 基) に対して、新設計画が約 980 万 kW (平成 15 年度電力供給計画)、2030 年度までのリプレース可能性が設備実耐用年数を 40 年と仮定して約 1,100 万 kW (現設備容量の約 3 割に相当) であり、CCT で改良された新しい石炭火力発電プラントの導入が期待できる²⁾。一方、コークス炉の鉄鋼分野では、2002 年度末設備容量が約 3,200 万トン (計 44 基) に対して、2030 年度までのリプレース可能性が設備実耐用年数を 50 年と仮定して約 3,100 万 kW (現設備容量の 95% 超に相当) であり、CCT でエネルギー使用量を削減した次世代コークス炉の導入の可能性はある²⁾。

CCT は、大きくは以下の 4 分野に分けられる (図表 6 参照)。

- ① 効率向上に資する技術
- ② 脱硫・脱硝など環境改善に資する技術 (CO₂ 分離回収・固定化技術も含む)
- ③ 石炭の液化、ガス化、スラリー (液体と固体の懸濁液) 化など石炭改質に資する技術
- ④ 石炭灰の有効利用技術

これらは、CO₂ や硫黄酸化物 (SO_x)、窒素酸化物 (NO_x) の削減による環境負荷低減、新たな石

図表 6 主なクリーンコールテクノロジーの概要



CWM: Coal Water Mixture、DME: Dimethyl Ether

参考文献¹²⁾をもとに科学技術動向研究センターで作成

炭活用の可能性 (ハンドリングの向上)、石炭灰の処理などの課題に対応する。CCT には、この他に低品位炭の有効利用技術も含まれる。

3 - 2

技術内容

① 熱効率向上に資する技術

電力分野における熱効率向上に資する技術に関しては、主蒸気温度約 540℃、圧力 238 気圧の (i) 超臨界圧微粉炭火力発電技術が既存実用技術で、(ii) 主蒸気温度約 600℃、圧力 241 気圧の超々臨界圧 (USC) 微粉炭火力発電技術や (iii) 加圧流動床燃焼複合発電技術 PFBC (Pressurized Fluidized Bed Combustion combined cycle) が、ほぼ実用化された技術である。PFBC では、約 10 気圧に加圧さ

れた流動床内で、粗粉碎された石炭を燃焼させる。

図表 7 に示される (iv) 石炭ガス化複合発電 IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle) は 2010 年頃商用化される予定の開発技術で、石炭をガス化して得られるガス化燃料 (主に一酸化炭素と水素) とガス化炉で得られる蒸気により、ガスタービン発電と蒸気タービン発電を同時に行い、高い発電効率を得られる。PFBC 技術をベースに石炭の部分ガス化などを組み合わせてさらなる効率向上を目指した高度加圧流動床燃焼複合発電 (A - PFBC) 技術もある。さらに、IGCC に石炭ガス化燃料を直接利用できる燃料電池を組み合わせた (v) 石炭ガス化燃料電池複合発電 IGFC (Integrated coal Gasification Fuel Cell combined cycle) は 2020 年頃と予想されて

いる⁷⁾。

1997年の石炭火力発電送電端効率が日本平均で38%であるのに対して、上記(i)～(v)の効率は、それぞれ、(i)40%、(ii)41%、(iii)42%、(iv)46%、(v)54%となり、(i)から(v)にいくに従って発電効率が向上することがわかる。一方、IGCCの単位発電量あたりCO₂発生量を、従来の石炭火力発電、石油火力、LNG火力と比較した結果を図表8に示す⁸⁾。CCT導入により、石炭火力発電によるCO₂発生量を約24%削減でき、石油火力以下に抑えられることがわかる。

産業分野における熱効率向上に資する技術としては、鉄鋼分野の石炭高度転換コークス製造技術(SCOPE21)などがある。事前処理の導入によりコークス製造工程における一層の省エネルギーを実現し、既存のコークス炉と比べて約2割エネルギーを削減する。

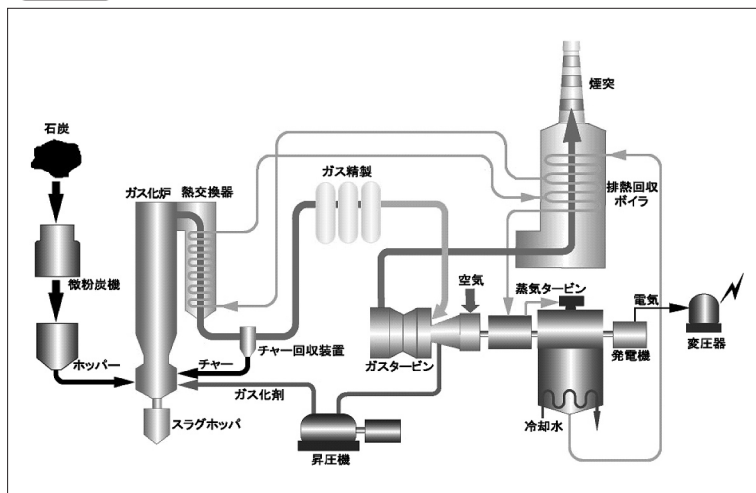
②環境改善に資する技術

環境改善に資する技術には、石炭燃焼排ガスに含まれるSO_xおよびNO_xを処理する技術⁹⁾や、図表9に示されるように、発電所等の大規模発生源から排出される

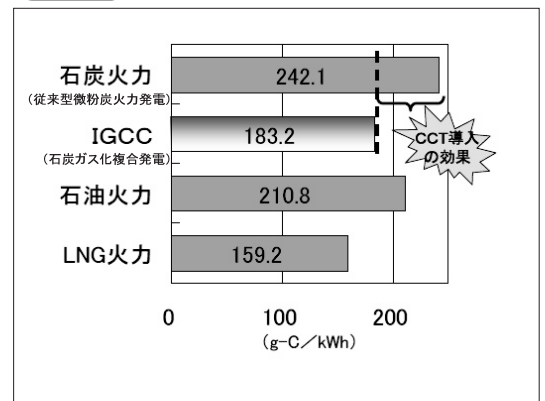
CO₂を効率的に分離回収し、地中や海中に固定化する技術^{9, 10)}などがある。地球温暖化問題の解決に向け中長期的に重要な技術である。分離回収したCO₂の応用先としては、油田への注入で原油の生産を増やす石油回収増進法(EOR)への適用が有望視されている¹¹⁾。

CO₂を地中の石炭層内に安定的に吸着・固定化させるとともに、石炭層中のメタンガスをクリーンエネルギーとして回収する技術開発についても基礎的な研究が実施されている。

図表7 石炭ガス化複合発電(IGCC)システムフロー



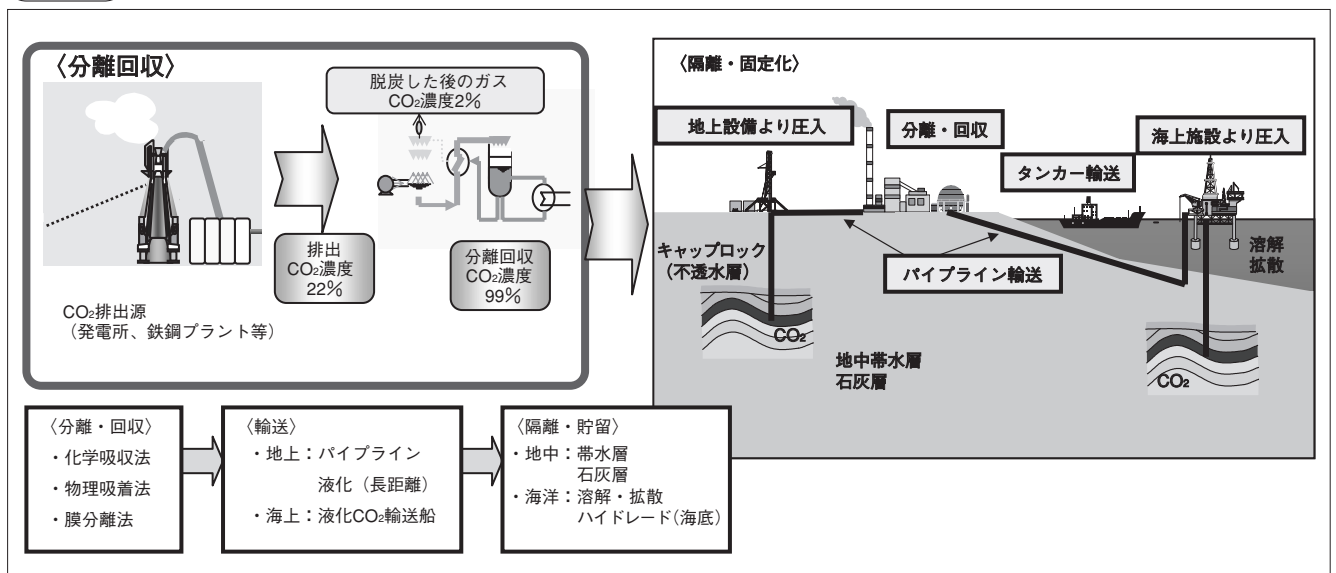
図表8 単位発電量あたりCO₂排出量



※燃料の燃焼、生産、輸送を考慮した単位エネルギー当りCO₂排出量(日本エネルギー経済研究所定例研究報告会資料1999年5月)をもとに、以下の発電端発電効率を考慮して算出。石炭火力40.1%、石油火力36.7%、LNG火力41.9%(平成13年度実績値、平成14年度電力需要の概要、経済産業省)。IGCCは、設計目標値として53.0%を仮定。

参考文献⁸⁾より

図表9 CO₂の分離・回収・隔離・固定化



参考文献¹³⁾より

③石炭改質に資する技術

石炭改質に資する技術は、石炭をガス化した合成ガスから付加価値の高い化成品原料（メタノール・アンモニア・活性炭等）、自動車液体燃料、家庭用燃料（軽油、灯油、液化石油ガス（LPG）代替燃料としてのジメチルエーテル（DME）等）、水素などを製造する技術である。石炭ガス化技術を核として異業種間の融合的な取り組みから新たなエネルギー・物質生産システムが構築される（図表 10 参照）。石炭ハンドリング技術に関しては石炭・水混合燃料（CWM：Coal Water Mixture）、コールカートリッジシステム（CCS、Coal Cartridge System）技術の開発が進められている。CWM は微粉碎した石炭と水を 7 対 3 の割合で混合、流体化する技術、CCS は石炭を一括粉碎して微粉炭にし、密閉

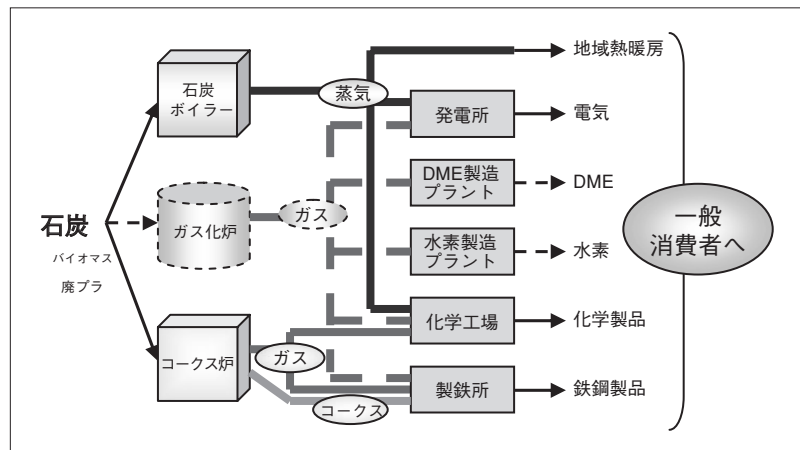
状態で安全輸送し、燃焼灰は一括処理するトータルシステム技術であり、両者とも実証段階の技術である。

④石炭灰の有効利用技術

石炭火力発電所から排出される石炭灰の有効利用を高めていくの

も非常に重要で、セメント原料、路盤材、土地改良材としての利用は既に行われている。将来的には人工超軽量骨材製造技術、流動床ボイラ燃焼灰利用技術、活性化フライアッシュ製造技術等の実用化が期待されている¹³⁾。

図表 10 石炭ガス化技術を核とした新たなエネルギー・物質生産システム



参考文献¹⁰⁾より

4. 研究開発動向

ここでは、日本、米国、欧州の CCT の研究開発動向について簡単に述べる。

4 - 1

日本の状況

これまでに実施された石炭利用に関する国家プロジェクト成果抜粋¹⁴⁾を技術分野ごとに、テーマ、開発期間、概要、評価及び商業化の有無について図表 11 にまとめて示す。概算で約 3,600 億円が投入されている。

熱効率向上分野では、加圧流動床燃焼複合発電技術（PFBC）や超々臨界圧微粉炭火力発電技術が数多く実用化され、特に、発電プラントの大容量化については欧米を凌駕している。石炭部分燃焼炉は、パイロット試験で基礎技術は確立したが、ニーズの低下により、石炭ガス化複合サイクル発電

（IGCC）が組める加圧型石炭部分燃焼炉の開発が進められた。

製鉄では、米国からの技術導入を基に、日本独自の高炉羽口部からの微粉炭多量吹き込み技術が実用化され、すべての高炉に適用されている。現在、銑鉄 1 トン当り 130 ～ 140kg 使われており、世界のトップレベルにある。

環境改善に資する排煙処理技術、すなわち、①石炭ボイラ用脱硫、脱硝技術、②活性コークスを使った同時乾式脱硫脱硝技術、③高性能脱じん技術などは、すべて実用化され、実機への普及も世界で最も進んでいる。日本の SO_x、NO_x、煤じん排出量は、1991 年には、欧米の排出基準値の 1/10 以下を達成した。現在の最も厳しい環境保全協定値は、SO_x：25ppm、NO_x：15ppm、煤じん 5mg/Nm³（中部電力・碧南火力）となっている。

石炭改質、特に石炭ガス化に関しては、低カロリーガスを生産し、ガス化複合サイクル発電に利用する技術について、当初、流動床ガス化プロセスの開発が実施されていたが、その後多炭種に対応できる噴流床ガス化プロセスの開発に移行し、200 トン／日のパイロットプラントの運転試験が実施された。本試験は 1995 年に終了したが、現在、250MW の IGCC 実証プラントの建設及び運転プロジェクトが進行中である。わが国は、石炭ガス化発電分野において長年の技術の積み上げがなく、欧米に遅れをとっているが、石炭ガス化ガスによる燃料電池、ガスタービン及び蒸気タービンのトリプルサイクル発電の実用化に向けて 150 トン／日の二段式噴流床ガス化パイロットプラントの運転試験を実施している。高カロリーガスを生産するためのハイブリッドガス化や

図表 11 石炭関連国家プロジェクト成果抜粋

分野		テーマ	開発期間	概要	評価	実用化
① 熱効率向上	燃焼	圧流動床燃焼 複合発電 (PFBC、 Pressurized Fluidized Bed Combustion)	1988 ～ 1999	71MW 電力、実証化 プ ラント (若松)	実用機プラント (北電苫東厚真・九電菊田・ 中電大崎) につながり、国内電力用 3 基 (計 670MW) が運転中。さらに、1 基増設が計 画中。中規模発電所向き。	○
		超々臨界圧 (USC) 微粉炭火力発電技術 (USC、Ultra Super Critical)		蒸気タービン蒸気条件 600℃ /610℃、25MPa	実用機プラントにつながり、国内電力用 8 基 (計 7,100MW) が運転中。さらに 2 基 (計 2,000MW) が計画中。送電端効率 41%達成。 欧米では更に 700℃以上を目標に開発中。	○
		加圧循環流動床 ボイラー	1992 ～ 1994	技術調査及び試設計	試設計までで中断。	×
		石炭部分燃焼炉	1984 ～ 1999	定圧から加圧へ。 加圧では、IGCC シス テムに適用。25t/ 日、パイ ロットプラント	加圧パイロットプラント試験で技術確立済 み。中小容量石炭直接燃焼複合発電を狙っ たが、パイロットまでで中断。	×
	製鉄	高炉への微粉炭 吹き込み技術	～ 1976	各社自社開発	実用化済み。	○
		溶融還元製鉄法 DIOS	1988 ～ 1995	500t/ 日、 パイロットプラント	パイロットプラント規模で技術確立済み。 CO ₂ 削減に向けて導入を検討中。	×
	工業炉	石炭直接利用金属 溶融システム	1993 ～ 1997	1 ～ 5t/ 日、 基礎プラント	基礎プラント規模で確認試験を終了したが、 その後の情勢変化で商用化を断念。	×
② 環境改善	脱硫	活性炭法	1975 ～ 1982	脱硫効率 95%	実用化済み。	○
	脱硝	選択接触触媒還元法	1979 ～ 1980	脱硝効率 80%	実用化済み。	○
	同時脱硫脱硝	活性炭コークス法	1979 ～ 1981	脱硫効率 97%、 脱硝効率 80%	実用化済み。	○
	脱じん	高温脱じん技術	1989 ～ 1995	セラミックフィルタ 1mg/Nm ³ 以下	北電苫東厚真 3 号機のセラミックフィルタ に反映済み。	○
③ 石炭改質	ガス化	噴流層ガス化	1991 ～ 1996	石炭ガス化複合発電用 (IGCC) 低カロリーガス 製造、200t/ 日パイロ ットプラント (勿来)	パイロットプラント規模で技術確立し、 IGCC：250MW の実証機 (2007 運開予定) を設計中。	○
		ハイブリッドガス化	1974 ～ 1986	石炭 + 重質油で高カロ リーガス製造、7000m ³ / 日 パイロットプラント (常 盤)	パイロットプラント規模の技術は確立済み。 経済的に見合わず、実証プラントに至らず。	×
		石炭水素添加ガス化	1996 ～ 2000	水素添加による高カロ リーガス製造	要素技術は終了したが、経済的に見合わず、 パイロットプラントは今後の情勢変化待ち。	×
	液化	瀝青炭液化	1974 ～ 1999	NEDOL 法、150t/ 日 パ イロットプラント	パイロットプラント規模の技術は確立済み。 経済的に見合わず、実証プラント待ち。	×
		褐炭液化	1981 ～ 1993	豪州との共同開発、50t/ 日パイロットプラント	パイロットプラント規模の技術は確立済み。 経済的に難しいため、その後瀝青炭に継承。	×
	流体化	CWM (Coal Water Mixture)	1980 ～ 1995	電力用、一般産業用、脱 灰 CWM、流通中継 (中 国→日本)	電力用、一般産業用とも実用化されたが、そ の後の経済情勢変化により燃料転換の予定 (常盤共同火力)。	○
		低品位炭 CWM	1991 ～ 1995	Hot Dewatering 法による 褐炭の CWM 化	インドネシアで FS を実施したが、経済的に 見合わず、今後の情勢変化待ち。	×
	ハンドリング	CCS (Coal Cartridge System)	1982 ～ 1987 1990 ～ 1995	5t/ 時間 25t/ 時間	知多市の CCS センター (20 万 t/y) が運 転中 (需要家は日清紡とニチハ)。	○
		低品位炭利用技術	1977 ～ 1997	褐炭の脱水・改質	パイロットプラント規模で技術確立済み。経 済的に見合わず、今後の情勢変化待ち。	×
	④ 石炭灰	有効利用技術	土木分野、建設分野 への活用	1980 ～	硬化体、土工材、土木材 料 (ポゾテック)、人工 骨材等	ポゾテックは商用化済み。また、人工骨材、 流動床灰固化体などが本格的に実証段階に 移行。

参考文献¹⁴⁾ より抜粋して科学技術動向研究センターにて作成

水素添加ガス化は、経済性が出ずに実用化まで至っていない。石炭液化については、サンシャイン計画の中で瀝青炭液化及び褐炭液化プロジェクトとしてパイロットプラントまで開発が進められ、技術的に世界水準を達成しているが、実用化に至っていない。

石灰灰の有効利用技術については、土木、建築、農業分野等各方面への有効利用技術の開発が実施され、硬化体、土工材、ポゾテック、人工軽量骨材、人工骨材等が実用化された。

今後の日本の CCT 開発では、IGCC 実証プロジェクト（2008 年実証試験開始予定、中国電力三隅発電所で 2014 年度以降に導入可能性有り）や石炭ガス化燃料電池複合サイクル発電システム技術開発が期待され、さらに、将来技術として CO₂ 回収を前提とした石炭からの水素製造技術や無灰石炭利用高効率発電システム技術が注目されている。

4 - 2

米国の状況

米国の CCT 実証プログラムは、1985 年に米国とカナダとの間で問題となった酸性雨の越境対応として開始された。2005 年までに実証プラントの運転試験を実施して CCT の早期実用化を図ることを目的として、次のような分野での開発が進められている。2001 年度までに 38 の実証プロジェクトのうち、29 が終了しており、1998 年度までに約 57 億ドルが投入された。

- 先進的発電技術：PFBC、IGCC、A - PFBC 等
- 環境抑制技術：SO_x、NO_x 抑制技術等
- 石炭プロセッシング：石炭改質、液体燃料製造プロセス等
- 産業用技術：製鉄等

1980 年代のプログラム初期において、SO_x、NO_x の低減技術実証を重点的に実施、その後 IGCC に代表されるような発電の高効率化に取り組んでいる。CCT 実証プログラムでは、同様の技術をいくつも取り上げて実証させ、競争力を高めているのが特徴で、さらに、開発した CCT 技術を発展途上国に積極的に技術移転しようとしている。2002 年には、ブッシュ大統領が、「クリーンコールイニシアチブ」として 10 年間で 20 億ドル拠出することも発表した。

一方、2000 年には、新たな戦略として、2015 年をターゲットに高効率化を目指した「ビジョン 21」が策定され、以下のような将来の発電プラントに関する 27 テーマ（内 CO₂ 隔離 12）の要素研究を開始した。

- 電力と燃料あるいはケミカルを併産するゼロエミッション設備
- SO_x、NO_x の超低排出
- CO₂ 排出削減あるいは隔離
- 水素、クリーンな輸送燃料、化成品燃料等のコプロダクションを可能とするモジュール設計

米国 DOE の石炭エネルギーに関する政策では、エネルギーのニーズと挑戦に応えるため、“Coal and Power Program” を策定しており、その第一はパワーシステム、第二は炭素の隔離固定、第三は先進的クリーン燃料という 3 つの大きな柱を掲げている。この政策を実施していくためのプログラムとして、上記「クリーンコールイニシアチブ」や「ビジョン 21」を含む 6 つが実施されている。

4 - 3

欧州の状況

欧州では、EU 委員会が加盟国共通の利益に基づいて EC 全体の

研究開発活動を戦略的に推進するためフレームワークプログラムを策定し、その中で技術開発を推進している。1984 年から実施されており、1994 ～ 1998 年に第 4 次プログラム、1999 ～ 2002 年に第 5 次プログラムが終了し、現在は第 6 次プログラムが、2003 ～ 2006 年の 4 年間の計画で実施されている。

CCT 関連技術の開発は、第 4 次フレームワークプログラムの JOULE 及び THERMIE プログラムというエネルギー関連プログラムの中や、第 5 次フレームワークプログラムの Energie プログラムの中で進められている。第 5 次には下記のようなものがある。

- ELCOGAS の IGCC プラント実証（継続案件、335MW、プエルトリャーノ、スペイン）：噴流層ガス化炉で、石炭と石油コークスをガス化。灰の融点を下げるため石灰石を投入。
- 先進的微粉炭火力プラント実証（継続案件、40 の企業参加）：メーカー、電力、金属など 40 の企業により微粉炭燃焼ボイラの蒸気条件を 700℃ 以上にできる金属材料を開発予定。
- 褐炭燃焼加圧流動床複合発電（PFBC）による熱電併給複合プラント実証（コットバス、ドイツ、71MW）：圧力 12bar の褐炭燃焼 PFBC ボイラによる熱と電力の供給。
- バイオマス / 石炭共燃焼（オーストリア）：石炭とバイオマスや廃棄物を一緒に微粉炭燃焼ボイラで燃焼し CO₂ 低減を図る。石炭の 3 ～ 5% が置き換えられる。

第 6 次プログラムの主なターゲットは、①エミッションフリーの高効率発電プロジェクト、② CO₂ 隔離等の環境対策、③エコシステムの開発である。ここでは、CO₂ 対策及びエネルギー安全保障や再生可能エネルギー利用促進に重点

が置かれ、欧州は、バイオマスを含む廃棄物利用技術、バイオマスと石炭の混焼技術開発などを実施し、開発技術の発展途上国への技術移転にも目を向けている。2001年9月の米国同時多発テロ事件以来、EU 委員会は、エネルギーセキュリティ確保を再度重要視し、エネルギー源として自国の再生可能エネルギー利用を促進すると共に、自国に賦存する褐炭を始めとする石炭を利用した上記①発電技術開発を重視し始めている。

4 - 4

中国の状況

中国政府は、第 10 次 5 ヶ年計画（2001 ～ 2005 年）期間にエネルギー技術を重要な発展領域として着実に推進するために、「973 計画」、「863 計画」及び「2010 年目標計画」というエネルギーの科学技術研究プロジェクトを実施している¹⁵⁾。CCT に関しては、石炭

液化、石炭ガス化、石炭ガス化複合発電、環境低負荷型石炭利用システムなどを中心に研究開発をすすめているが、国外からの技術導入をベースにした開発である。

4 - 5

日米欧の競争力比較

上記の CCT 動向や文献 11 をもとに、CCT 競争力を日米欧で比較した結果を図表 12 に示す。

熱効率向上に資する技術に関しては、日本は、燃焼基礎技術や加圧流動床複合発電技術、鉄鋼などの産業用石炭利用技術において、欧米よりも優位にあるが、石炭ガス化複合発電技術分野においては、実証化技術の積み上げが少なく、欧米に遅れをとっている。

一方、環境改善技術では、脱硫、脱硝分野で、世界トップレベルにあり、欧米を凌駕している。CO₂ 分離・回収・固定化技術分野では、実用技術で欧米が強い。石炭ガス

化、流体化、合成燃料技術も欧米が優位であるが、DME（ジメチルエーテル）製造では、日本がすすんでいる。石炭間接液化燃料製造では、石油輸入が困難であった歴史的背景から南アフリカ共和国の SASOL 社が優位である。石炭直接液化技術は、日米欧ともパイロットプラント試験で基礎技術は確立したが、経済的に見合わず、現状、どこも実用化に至っていない。

米国及び欧州の CCT 開発においては、石炭ガス化複合発電高効率化と CO₂ 分離・回収・固定化という競争力を持つ分野が重視されている。日本でも、石炭火力の効率を飛躍的に向上させるには、石炭ガス化技術の実用化及びトータルシステムとしての石炭ガス化複合発電システムの実用化を目指す必要がある。また、CO₂ 回収型の発電プロセス、CO₂ 回収・隔離に関する技術開発も進めていくことが重要である。

図表 12 日米欧のクリーンコールテクノロジー競争力（技術力・コスト）比較

分野		日本	米国	欧州	その他
①熱効率向上	超々臨界圧微粉炭火力発電	○			
	加圧流動床複合発電	○			
	石炭ガス化複合発電		○	○	
	産業用石炭利用	○			
②環境改善	脱硫	○			
	脱硝	○			
	集塵	○	○	○	
	CO ₂ 固定化		○	○	
③石炭改質	ガス化		○（小型）	○（大型）	
	液化	現状中止	現状中止	現状中止	
	流体化		○ (CWM、 Coal Water Mine)		
	合成燃料	○ (DME 製造)	○ (アルコール・ DME 製造)		○ (南ア SASOL 社、 石炭間接液化燃料)
④石炭基盤技術		○		○	

○が競争力のある分野を示す。DME は Dimethyl Ether、ジメチルエーテル

参考文献^{10,14)} をもとに科学技術動向研究センターにて作成

5. 課題と政策提言

5 - 1

課 題

石炭は、世界においても、また、日本においても、これまで同様一次エネルギーの大切な柱のひとつとして位置づけられている。第3、4章でも一部述べたが、今後環境にやさしい石炭利用を推進するには、以下のような課題がある¹⁶⁾。

①エネルギー利用高効率化、CO₂削減による地球温暖化対策

- 石炭利用発電システムのさらなる高効率化、低コスト化による CO₂ 削減
- 産業融合化による大幅な高効率化（石炭からのエネルギー・化学原料併産をコア技術）
- 石炭からの高効率水素製造および CO₂ 回収・隔離ならびに低コスト化
- バイオマス・廃棄物との混合利用による CO₂ 低減

②環境負荷低減対策

- 石炭燃焼で発生する石炭灰の処理・利用
- NO_x、SO_x、煤じん等の排煙処理技術のさらなる向上と低コスト化

③国際協力の必要性

- アジアの環境保全に貢献する、アジア地域への技術移転
- 京都メカニズム^(注1)、特に、クリーン開発メカニズム(CDM)^(注2)の活用

④石炭安定供給のための環境整備

- 産炭国における炭鉱開発、石炭輸送インフラ整備⁵⁾
- 需給見通しに関する産炭国、消費国との情報共有
- 低品位炭の改質有効利用

5 - 2

政策提言

上記のような課題を踏まえ、環境調和的な石炭利用に関する技術開発を積極的に推進する取り組みとして、まず、下記を提言する。

(1)石炭ガス化を軸とするCCTの積極開発と実用化、低コスト化

環境にやさしい CCT によって、石炭の最大の課題である環境負荷問題は克服可能であり、政府のイニシアチブのもとに下記を重点予算化、推し進める。

- ① 2010 年までに、石炭をガス化して低コストで効率的に発電する技術開発を重点加速化し、信頼性向上、発電効率向上を目指す。また、石炭灰の有効利用技術開発を推進する。
- ② 2015 年までに、石炭ガス化発電と燃料電池との複合発電技術開発を通してさらなる発電効率向上を目指す。
- ③ 2020 年までに、二酸化炭素(CO₂)分離回収・固定化による温暖化ガス排出低減を目指す。

①、②は、産学官連携の国家プロジェクトで実施する。特に、②で

は石炭ガス化先端技術開発と実用化技術開発のギャップを埋めるべく、商業化へのロードマップに即した技術開発中間評価を厳格化したプロジェクトを導入し、達成時期と目標性能、目標コストを明確化した評価プログラムを採用する。

さらに、日本が石炭を安定して利用していくには石炭供給に関する産炭国との環境整備が重要であり、その取り組みとして下記を提言する。

(2)石炭の安定供給確保

石炭の最大の利点である価格の低位安定性を中長期的に確保するため、産炭国における炭鉱開発、石炭輸送インフラ整備調査の強化や政策金融の機動的な運用等を通じ、炭鉱開発・インフラ整備を促進する。また、産炭国との政策対話を通じて、資金供給を円滑化する貿易・投資環境整備を2国間で行う。

日本では、わが国需要の大部分を占める高品位炭の需給を緩和するため、アジアの低品位石炭を高品質化する技術開発を国として重点推進する。

さらに、APEC（アジア太平洋経済協力）や ASEAN（東南アジア諸国連合）+ 3（日・中・韓）などのもとに、日本が主導して、国際ネットワークとしてのアジア

（注1）京都議定書で、排出削減目標達成に向けた自国での排出削減努力を補足するものとして導入された柔軟性措置。国際的協調による取り組みが可能で、①共同実施、②クリーン開発メカニズム、③排出量取引の3つがある。

（注2）Clean Development Mechanism。京都議定書に掲げられた排出削減の数値目標をもつ先進国と数値目標をもたない中進国・途上国との間で、温室効果ガス削減プロジェクトなどの共同の事業を実施し、削減分を参加国が譲り受けることを認める制度。中進国・途上国にとっては、先進国の投資を通じて、自国の環境対策推進や技術移転といったメリットがあると考えられている。

石炭フォーラム（仮称）を設営・運用し、アジア域内の石炭需給見通しや CCT 普及策に関する情報を交換・共有する。

今後、20～30年にわたり、1次エネルギーの約2割を環境にやさしい石炭利用で賄っていくには、CCT 関連人材の供給も必要不可欠であり、その取り組みとして下記を提言する。

(3)中長期的人材育成

9 地方に1つずつぐらいの割合の大学・大学院で、複数の専攻にまたがった CCT 関連の教育プログラムを設け、中長期的に人材育成を行う。大学院のプログラムでは、将来の受け皿となる企業などでの実務インターンシップ研修を必修とし、技術成果の社会への還

元を学ばせる。CCT 先進技術や石炭科学のベースをもち、知識の構造化、体系化、新しい技術の提示、実用技術との対応性が理解できる人材を、大学・大学院から輩出する一方、企業における CCT 関連実務現場教育プログラムも充実させ、CCT 分野における日本の国際競争力強化につなげる。

6. むすび

今後、世界のエネルギー需要増大、特に、アジア諸国の需要増大が予測される中で、エネルギー市場は、価格競争力、安定供給、環境対策の3つのバランスで、燃料を選択していく。

石炭利用の利点は、歴史が示すように価格競争力と埋蔵地域分散性にある。しかし、地球温暖化問題を背景に、高い環境負荷をいかに抑えるかが大きな課題としてクローズアップされ、近年、環境に調和する石炭利用技術（クリーンコールテクノロジー、CCT）の開発や、石炭安定供給の維持・強化に向けた環境整備を積極的に推進する必要性が高まってきた。本稿では、石炭需給動向や CCT の技術概要、日米欧の開発動向ならびに日本における石炭利用の課題をまとめ、今後の政策展望を述べた。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり、日本エネルギー学会長の持田勲九大特任教授、財団法人電力中央研究所エネルギー技術研究所の牧野尚夫上席研究員、電源開発株式会社技術開発センターの新井康夫センター長代理、新日本製鐵株式会社技術開発本部環境・プロセス研究開発センターの汐田晴是部長、原料第一部の末松正彦グループリーダー

一、株式会社クリーンコールパワー研究所の長井輝雄取締役役のご意見もご参考にさせていただきました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 財団法人日本エネルギー経済研究所、「アジア／世界エネルギーアウトLOOK —急成長するアジア経済と変化するエネルギー需給構造—」、2004年3月
- 2) 経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会（第7回）配布資料：
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g40517bj.html>
- 3) 文部科学省 科学技術政策研究所、科学技術動向2004年7月号 p.22、「エネルギー環境分野における日中技術協力動向と今後の展望」
- 4) <http://www.iae.or.jp/publish/tenbou/1996-TEIHINITAN/Ishou.html>
- 5) 三室戸義光、小泉光市、「石炭需給・価格の動向とわが国の石炭安定供給への課題」、エネルギー経済、第30巻第4号（2004年秋季）p.46 - 66.
- 6) 財団法人日本エネルギー経済研究所、「石炭需給・価格の現状と課題」、2003年12月：

<http://eneken.ieej.or.jp/data/pdf/803.pdf>

- 7) NIRA 北東アジア環境配慮型エネルギー利用研究会編、「北東アジアの環境戦略」、日本経済評論社、2004年
- 8) <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g40130b60j.pdf>
- 9) 地球環境工学ハンドブック、地球環境工学ハンドブック編集委員会編、オーム社、1991年
- 10) <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g40317b40j.pdf>
- 11) 本命技術、「二酸化炭素の分離・固定」、日経エコロジー、p.138 - 141、2004年7月号
- 12) <http://www.enecho.meti.go.jp/hokoku/html/16013253.html>
- 13) http://sta-atm.jst.go.jp/atomica/01040204_1.html
- 14) 財団法人石炭利用総合センター報告書、「21世紀石炭技術開発戦略の展開」、2003年3月
- 15) Yusheng XIE, Shufeng YE, Kuniyuki KITAGAWA, and Kali WANG, 「The Developing Strategy and Research for Chinese Energy Resources」, J. Jpn. Inst. Energy, Vol.83, 207 - 211 (2004)
- 16) 原田道昭、「石炭利用技術開発の課題と今後の戦略」、J. Jpn. Inst. Energy, Vol.82, No.11, 2003.

.....

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

November 2004
(NO.44)

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and
Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports,
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

連絡先：〒 100 - 0005 東京都千代田区丸の内 2 - 5 - 1

電話 03 - 3581 - 0605 FAX 03 - 3503 - 3996

URL <http://www.nistep.go.jp>

Email stfc@nistep.go.jp

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ Nanotechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier

Science & Technology Trends

科学技術動向

《2004年11月号》

文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター