

クリーン・コール・テクノロジー

CCT Journal

vol.4

2002.11



宮東厚真発電所

content

1. 巻頭言

CCTの開発と技術移転
(財)石炭利用総合センター 副理事長 大野 正道 1

2. スペシャルレポート

持続可能な開発に関する世界首脳会議の結果と今後
(財)日本エネルギー経済研究所 工藤 拓毅 2

3. クリーン・コール・テクノロジー1

1. 低エミッション石炭エネルギー利用システム先導研究開発について
(財)石炭利用総合センター 篠崎 貞行 7
2. 中国電力の石炭灰利用技術 中国電力(株) 齊藤 直 12

4. 技術最前線

新日本製鐵(株)エネルギー・プロセス研究開発部 23

6. CCUJだより

1! 石炭利用技術会議を開催!
2! バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発について
亀井 健治 27

編集後記 30

発行：財団法人 石炭利用総合センター
Center for Coal Utilization, Japan

<http://www.ccuj.or.jp>

CCUの開発と技術移転

財団法人 石炭利用総合センター
副理事長 大野 正道
(電源開発(株) 常務取締役)



この度、三田重男前副社長の後任として、(財)石炭利用総合センター(CCUJ)の副理事長を拝命しましたJ-POWER/電源開発(株)の大野でございます。就任にあたりまして一言ご挨拶申し上げます。

現在、我が国の一次エネルギーの18%は石炭によって供給されており、2010年時点の需給見通しでも供給量の約2割を占めると予測されております。その埋蔵量の豊富なこと、広く世界に賦存していることを考えると、石炭は我が国のエネルギーセキュリティー上も将来にわたって重要なエネルギー源であり続けることと思われまます。これは、中国、東南アジア、インド等のアジア地域の国々に於いても同様で、石油や天然ガスを産出する国であっても、石炭を産出する国にあってはなおの事、エネルギー資源のバランスを考慮して、石炭の消費量は増え続けるものと思われまます。

一方、石炭の利用拡大に伴って、SOx、NOx、ばいじんの排出低減といった地域環境問題や、CO₂排出削減といった地球環境問題を克服していく事がますます重要になっており、石炭利用技術先進国として、我が国が果たすべき役割も必然的に高まってきております。

CCUJは、クリーンな石炭利用のための石炭利用実用化技術や、革新的な次世代技術の開発を進めると同時に、我が国のクリーン・コール・テクノロジー(CCT)をアジア地域に技術移転するための各種国際協力事業を実施し、成果をあげてきております。特にアジアでは、地域環境保全に対する意識の高まりから、一部天然ガスの利用が進んでいるものの、CCTへのニーズは年々増大しており、技術移転とその普及を求める声も高まってきていますが、普及段階へ進むに際し、これを阻む要因(相手国によって異なる)があるのも事実です。

今後CCUJは公益法人として、NEDOを含む国と相手国の間に立って、また国と民間とも一緒になって、CCTのさらなる技術移転、普及のために「何が出来るのか」「どの様にやったら良いのか」を常に自分に問いかけながら、一つひとつ答えを出していきたいと思ひます。

一方、我が国は地球温暖化防止のための京都議定書を批准し、COP8ニューデリー会合もつい先日閉幕しましたが、COP7とCOP8においてクリーン開発メカニズム(CDM)のルールがほぼ固まりました。途上国も入っての合意という意味で、今後CDMを使ったCO₂削減プロジェクトが数多く立ち上がってくるものと思われまます。

CCUJは現在、高度加圧流動床燃焼技術(A-PFBC)開発、石炭ガス化燃料電池複合発電技術(EAGL)開発等に参画しており、これまでも常圧流動床燃焼技術(AFBC)、加圧流動床燃焼技術(PFBC)等のCCTを開発してまいりました。

この内、PFBCは高効率な石炭燃焼及び複合サイクル発電による発電効率向上により、CO₂の削減が可能であり、既に電力会社が商用運転中です。

これらの技術を活用して、途上国と一緒にCDMプロジェクトを、あるいは先進国とならJIプロジェクトとして立ち上げたいと考えていますが、ここでもCCUJとして、ビジネスモデルをどう構築すべきかについて、知恵を絞りたいと思ひております。

新生CCUJは、石炭利用技術分野のナンバー1を目指して、今後とも努力してまいります。会員各社の皆様の一層のご支援ご協力をお願い申し上げまして、私のご挨拶とさせていただきます。

スペシャルレポート

持続可能な開発に関する世界首脳会議（WSSD）の結果と今後

（財）日本エネルギー経済研究所

第二研究部環境グループ 専門研究員 齊藤 晃太郎
グループマネージャー 工藤 拓毅

はじめに

去る8月26日から9月4日（首脳級会合は9月2日から4日）にかけて、南アフリカ共和国のヨハネスブルグで国連の持続可能な開発に関する世界首脳会議（World Summit on Sustainable Development：WSSD）が開かれた。会議には各国首脳および国際機関の長なども参加し、NGOや報道関係者も含めて2万人を超える人々が参集した。本会合では、1992年6月にブラジルのリオ・デジャネイロで開催されたUNCED¹において採択された「アジェンダ21」²、そして2000年に開かれた国連ミレニアムサミットでのミレニアム開発目標³等によって提起されていた環境と開発を巡る様々な課題に対する現状と今後の方向性について議論が行われた。ここでは、本会合の目的、本会合にいたるまでの経緯、本会合での主要な論点および決定事項について、その概要をまとめる。

1．WSSDの目的

WSSDの目的は、UNCED（「地球サミット」）において環境と開発分野における国際的取組みの行動計画として採択された「アジェンダ21」、また2000年の国連ミレニアムサミットで策定されたMDGsなどで謳われていた貧困の撲滅、持続的な生産や消費のあり方（含エネルギー問題）、経済・社会開発の基礎となる天然資源の保全と管理、グローバル化する世界における持続可能な開発などに関する行動計画や、新たに生じた課題等について議論するとともに、目標実現のためのより効果的な実施計画を検討することであった。

2．WSSDに至るまでの交渉の経緯

WSSDの開催に向けて、4回の準備会合が実施された。また時期を同じくして、第4回WTO閣僚会議、および開発のための資金に関するハイレベル協議が開かれ、資金及び貿易問題でWSSDでの交渉に影響を与える決定が行われた。

WSSDの準備段階では、特に資金及び貿易関連が大きな論点となった。第3回準備会合では、ミレニアム開発目標、開発のための資金に関するハイレベル協議の結果（モンテレイ・コンセンサス）、及び第4回WTO閣僚宣言（ドーハ宣言）等の文書に盛り込まれた合意を越える内容を議長ペーパーに挿入することを主張する国とそれに反対する国との間で立場の相違がみられた。最後の準備会合である第4回準備会合でもこの相違が原因で交渉が決裂した。各国の主張がまとまらない分野については、複数の選択肢付きの実施文書案をヨハネスブルク・サミットにて、引き続き交渉を続けることとされた。

3．会議での交渉の流れと結果

会議に先立つ8月24日より、「実施文書」の内容に関し、事前の準備会合で合意に至らなかった「エネルギー」、「気候変動」、「海洋」、「資金」、「貿易」等の問題についての議論が開始され、9月3日の内容合意に至るまで、持続可能な開発に関する将来的な方向性についての交渉が行われた。そして最終日の9月4日に「持続可能な開発に関するヨハネスブルク宣言」と題された政治宣言と実施文書が採択され、閉会した。また同時に、各国が今後自発的に取り組むプロジェクトを網羅した約束文書が登録された。

政治宣言では、生物多様性の損失、砂漠化、地球温暖化など従来から認識されている環境問題のほか、経済のグローバル化による利益とコストの配分など新たな問題の認識と取組みの必要性が言及された。

実施文書には、「貧困の撲滅」、「非持続可能な消費及び生産パターンの変更」、「経済・社会開発において基本となる天然資源の保護と管理」等のテーマに対する具体的な取組みの方向性が、10章にわたって示された。

約束文書には、各国政府、国際機関、NGO等が表明する取組みがとりまとめられた。日本に関しては、ODAの活用も考慮し、11分野（科学技術、エネルギー、気候変動、森林分野等）で30のプロジェクト（WTO関連のキャパシティビルディングやCDM等）が登録された。

表1：WSSDに至るまでの交渉の経緯

会合名、開催日、および開催地	概要
第1回準備会合 (2001年4月30日～5月2日) (ニューヨーク)	・サミットに向けた準備プロセスを決定。
第4回WTO閣僚会議 (2001年11月9日～14日) (カタール、ドーハ)	・142カ国のWTO加盟国等が参加。 ・貿易と環境、電子商取引など幅広いアジェンダを内容とする新たな多角的通商交渉(新ラウンド)の立上げが盛り込まれた閣僚宣言(ドーハ宣言)を採択。
第2回準備会合 (2002年1月28日～2月8日) (ニューヨーク)	・分野毎に国際社会全体がとるべき行動を提言として取りまとめた議長ペーパーと、サミットで取り上げるべき主要テーマを提示。 ・WSSDにおいて予定される成果として、政治文書、実施文書、約束文書を採択することを決定。
開発のための資金に関するハイレベル協議 (2002年3月18日～3月22日) (メキシコ、モンテレイ)	・先進国と発展途上国が新たなパートナーシップを構築しながら持続可能な開発のための資金を調達する旨が記載され、先進国側に「政府開発援助(O DA)の国民総生産(GNP)比0.7%目標」の実現が要請された合意文書(モンテレー・コンセンサス)を採択。
第3回準備会合 (3月25日～4月5日) (ニューヨーク)	・実施文書の素案である「編集文書」を基に議論を実施。 ・主な争点は、途上国が主張している貧困撲滅のための基金設置の可否、持続可能な開発のための新たな組織的担当の是非等をめぐる「エネルギー」京都議定書発効に向けた取組みを含めた「気候変動」、公海における水産資源の配分や保護区の設定等の「海洋」、ODA目標を含む「資金」、途上国産品のマーケットアクセスや補助金等の「貿易」等であった。
第4回準備会合 (5月27日～6月7日) (インドネシア、バリ)	・サミットで採択される予定の「実施文書」の取りまとめ、及び「政治文書」の要旨に関する討議を実施。 ・開発途上国に対する支援に関し、従来の国際的合意を超えた資金や貿易面での合意をめぐって、途上国と日米EU等先進国との間で意見対立がみられ、交渉は決裂。

表2 日本政府によるタイプ2プロジェクト
(国連事務局への登録のため国連事務局に送付した案件)

人間と希望(Human and Hope)	
人への投資	アフリカにおける理数科教育のための能力開発(Capacity Development for Science and Mathematics Education in Africa)
	中国「人材育成事業」(Higher Education Projects in China)
	感染症対策人材育成(Human Resource Development on Infectious Disease Control)
	シャーガス病対策プロジェクト(Chargas Disease Vector Control Projects)
	結核対策プロジェクト(Tuberculosis(TB) Control Projects)
知識	母子手帳プロジェクト(Maternal and Child Health(MCH)Handbook Projects)
	アジア太平洋環境開発フォーラム：知識ネットワークと能力開発(Asia-Pacific Forum for Environment and Development(APFED))
科学技術	統合地球観測戦略(IGOS)パートナーシップ(Integrated Global Observing Strategy(IGOS)Partnership)
	アジア太平洋地球観測パイロットプロジェクト(Asia-Pacific Earth observation pilot project)
	科学技術による環境政策形成・実施の支援(Asia-Pacific Environment Innovation Strategy Project(APEIS))
地球地図(Global Mapping)	
自立と連帯(Self Help and Solidarity) - 開発 -	
貿易 投資	貿易関連人材育成(Promotion of WTO-trade related Technical Assistance and Capacity Building)
	WTO関連キャパシティ・ビルディング・イニシアティブ(WTO Capacity Building Initiative)
エネルギー	エネルギー理解促進イニシアティブ(Energy Literacy Initiative)
	北ルソン風力発電事業(Northern Luzon Wind Power Project)
農業と食糧	RERE(Renewable Energy based Rural Electrification)(離島用再生可能エネルギー発電)プロジェクト
	ネリカ米の普及に対する支援(NERICA Dissemination for Food Security in Africa)
今日と明日(Today's pleasure, tomorrow's plight) - 環境 -	
環境関連途上国支援	環境分野におけるガバナンスの改善(Initiative for Good Governance in Environment: IGEN)
	環境関連人材育成(Transfer of know-how held by Japanese local governments in the field of addressing environmental problems)
	環境分野における人材・組織の能力開発イニシアティブ(Initiative for Human and Organizational Capacity Development in Environmental Sector)
	途上国における人づくり(研究科学能力の向上)Scientific Capacity Building for Sustainable Development in Developing Countries)
	フィリピン「北部パラワン持続可能型環境保全事業」Sustainable Environmental Management Project in Northern Palawan)
気候変動	アジア太平洋地球温暖化情報ネットワーク(AP-Net)を通じた気候変動地域戦略の強化(Enhancement of regional strategy on climate change through the Asia-Pacific Network on Climate Change(AP-Net))
	CDM(グリーン開発メカニズム)キャパシティ・ビルディング・プログラム(Asia CDM Capacity Building Initiative)
森林	アジア森林パートナーシップ(Asia Forest Partnership(AFP))
生物多様性	重要生態系(ホット・スポット)の保全(The Critical Ecosystem Partnership Fund(CEPF))
	東アジア-オーストラリア地域における渡り鳥生息地の保全(Conservation and Sustainable Use of Sites of International Importance to Migratory Birds in East-Asia, South East Asia and Australasia)
水	アジア水質ネットワーク(The Asian Water Quality Network:AQUA-NET)
	国際洪水ネットワークの構築(International Flood Network)(IFNet)
	環境に優しい都市交通に関するバンコクイニシアティブ(Bangkok Initiative on Environmentally Friendly Urban

4. 本会合における主要論点と決定事項

(1) 京都議定書の早期発効に関する取組みについて

京都議定書（以下、議定書）は、気候変動枠組み条約締約国のうち 55 カ国以上が批准をし、かつ批准した附属書 国の 1990 年における二酸化炭素排出量の合計が、附属書 国合計排出量の 55%以上を達成するという要件を満たしてから 90 日後に発効することになっている（議定書第 25 条）。WSSD 最終日から 90 日前にあたる 6 月 7 日時点で気候変動枠組み条約の締約国で議定書を批准していた国の数は 75 カ国、同時点で議定書を批准していた附属書 国の 1990 年の二酸化炭素排出量合計は、全附属書 I 国合計の 35.8%であり、発効要件は満たされていなかった。したがって WSSD までに議定書を発効させようという目標^vは、WSSD 開始前から達成できないことがわかってきた。そのため、WSSD における議定書発効問題に対する関心は、批准の表明をしていない国々の動向、ならびに批准しない態度を表明している米国・豪州の、実施文書の記載内容に対する対応にあった。

日本や EU など既に議定書の批准を行っていた国々は、議定書の実効性を高めるためにも、各国に対する批准を要求する文言を記載することを主張していた。一方、議定書からの離脱を表明している米国は、すべての国に対し批准を求めるような文言を認めることはできないと主張した。最終的な調整役には日本があたり、文言上で気候変動問題の重要性を明確にすると共に、「京都議定書の批准国は、未批准国に対し、そのタイムリーな批准を強く求める」との内容を盛り込むとともに、批准国が UNFCCC（気候変動枠組条約）における全てのコミットメントや義務を実現することが示された。

一方、会議の期間中に、ロシアが批准の方向で作業を進めていること^v、カナダが国会にて批准を図る予定であることを表明^{vi}するなど、議定書が近い将来に発効する可能性が高まったことが認識された。また中国は、会期中に批准したことを発表した。

(2) 途上国開発援助、貿易問題について

交渉では、「ODA を国民総生産（GNP）の 0.7%に引き上げる」という従来の国連の目標について、開発途上国側が達成期限を実施計画に明記するように要求した。これに対して先進国側が拒否姿勢を崩さなかったため、モンテレイ・コンセンサスを踏襲した上で、「（先進国に）『明確な努力』を促す」との表現にとどめることで合意された。

途上国側が先進国側に農産品への輸出補助金撤廃を要請していた貿易問題では、「段階的撤廃を視野に入れる」としたドーハ宣言を超える内容を盛り込むかが論点となった。開発途上国側は、環境破壊を引き起こす貧困の根絶のためには、開発途上国の産業の自立が不可欠であり、そのために配慮された貿易ルールが必要であることを主張した。

最終的には、既存の合意の実施が重要であるとする先進国側の主張により、「『ドーハ宣言』に従って」という表現を盛り込むことで合意した。

(3) 再生可能エネルギー導入量の数値目標設定の可否

EU は、世界全体での再生可能エネルギーの導入目標量を設定することを強く主張し、2010 年までに世界全体で一次エネルギー総供給に占める再生可能エネルギーの割合を 15%にするとともに、先進国については 2000 年比で 2%その比率を高めるという目標提案を行った。国連の社会経済局が WSSD に向け 2002 年の 8 月 14 日に発表した報告書（「Global Challenge Global Opportunity Trends in Sustainable Development」）では、2000 年における全世界のエネルギー生産に占める再生可能エネルギーの割合は、約 4.5%であるとしている。また IEA の報告による全世界の再生可能エネルギー^{vii}導入量では 2000 年の実績で 5%となっており、2010 年の見通しでもこの比率は殆ど変化しないという結果となっている。EU の提案における目標が、世界の再生可能エネルギー導入状況や将来見通しと比較して相当高いものであることがわかる。

EU は、すでに EU 域内での目標ⁱⁱⁱを掲げており、域内の取組みを世界全体に適応しようと働きかけたとみられる。ノルウェー、ニュージーランド等も、期限付きの数値目標を掲げることを支持した。しかし、途上国はより野心的な期限付き目標を要求するグループと「エネルギーへのアクセスを優先させるべき」と主張するグループとに分かれるなど考え方を一本化することができず、日本、米国、オーストラリア、カナダは、各国の自然条件やエネルギー需給環境が異なる中で統一目標設定は合理的ではないとして、柔軟な対策の適用を主張した。

最終的には、EU が全体の中で孤立して他国の主張との相違を埋めることができず、「各国が国内政策と自主的目標の役割を認識しつつ」「再生可能エネルギーの世界全体における比率を十分に拡大する」という表記で妥協し、数値目標を明記しない形で合意がなされた。

(4) 環境に対し悪影響を及ぼすエネルギー補助金の段階的解消

環境に対し悪影響を及ぼすエネルギー補助金に関し、これを段階的に解消するという内容について、その文言記載の可否と予定表付の国家政策の採用について言及するかが論点となった。各国のエネルギー資源の状況に応じて、エネルギー供給を維持するために国内エネルギー産業を保護するような政策措置を維持したいという考えと、グローバル化の広がりの中で、競争条件をより緩和させたいという立場との対立である。

米国、日本、中国、オーストラリア、カナダなどが予定表の記載に反対する一方で、EU、ノルウェー、ニュージーランドは、エネルギー補助金の廃止は持続可能な開発を促すエネルギー供給の達成のための本質的な仕組みであると主張した。

最終的には「税制改革と、弊害のある補助金が存在する場合には段階的に廃止することを含め、市場のシグナルを活用して市場における歪みを軽減する」との文言が採用され、具体的な目標は設定しないものの、問題があると認められる部分については是正していくという方向性で合意された。

5. 本会合の特徴と今後の展望

本会合を総括すると、環境の保全と開発を両立することの難しさを再認識するとともに、先進国と途上国間の経済格差の中で経済のグローバル化の進展が与える影響への対応など、新たな課題に対する対応の重要性が認識されたということがいえるだろう。

以下に、本会合の特徴として考えられることと、それらについての今後の展望についてまとめることにする。

(1) 環境重視から環境と開発重視へ

リオでの地球サミットにおいては「環境」と「持続可能な開発」が主たるテーマであったが、今回のサミットでは、持続可能な開発のために必要な社会的・経済的事項に、よりその焦点を絞った議論が展開された。この背景には、地球サミット後の世界的な経済不況もあり政府開発援助（ODA）など開発途上国への国際的資金の流れが縮小傾向にあるため、地球サミットでの約束が果たされていないとする途上国の不満の高まりがある。また途上国の不満の根底には、途上国側が、地球レベルの環境問題の解決と持続可能な開発を両立するためには先進国と途上国との経済的格差を是正することが必要であり、先進国は途上国の開発を促す働きかけをさらに拡大すべきであると認識していることが考えられる。

そのため、今後 10 年間にかけの実施計画施行過程においては、多方面における先進国の途上国に対する支援、もしくは開発を妨げない貿易ルールの構築等が争点になることが予想される。エネルギー分野では、先進国の開発途上国における再生可能エネルギーの導入、化石燃料利用における環境負荷低減技術の導入、効率の改善などの取組みに対して、その貢献度が問われる可能性が高い。

また地球サミットで採択された「アジェンダ 21」、および今回の会合で採択された「実施文書」の実行状況を検証する仕組みの構築は、今後の重要な課題であるといえる。

(2) 産業界の取組みの方向性

一方、本会合においては、産業界の参加が増加し、基金やパートナーシップなどの新たな枠組みの発足がみられた^{ix}。これは、民間部門が持続可能な開発の必要性を認識する一方、グローバル化の拡大により多国籍企業のあり方が問われるとともに、企業の説明責任の重要性が高まりつつあることを反映していると思われる。このことは、今後の企業活動において環境をはじめとする「持続可能性」という要素を組み込み、実際のパフォーマンスを広く社会に伝えるような枠組みの必要性が求められることを示している。

(3) 気候変動問題への国際間協調の必要性

気候変動問題に関しては、ロシアやカナダが議定書の批准に前向きであることの意味表示がなされ、近い将来における議定書の発効がやや現実味を帯びてきた。また米国や豪州に対し、継続的に議定書への参加を働きかけることが計画に明記された。

一方で、今後の取組みに関しては、先進国と途上国間にある様々なギャップを埋めつつ、先進国が途上国に対して気候変動問題解決のための働きかけを行っていかなくてはならない状況も、今回の議論を通して窺い知ることができる。CDM 実行のためのルール構築やプロジェクトの運営を考えても、今回提起されている様々な持続可能性実現という尺度が今後の争点になる場合も想定される。そのため、気候変動問題の取組みを各国が円滑に行うには、途上国を含めた各国間の協力に基づく枠組みの構築が重要となる。その中でも、今回実施計画中に記載された米国の議定書復帰に対する働きかけは、今後の国際的な枠組み構築において重要な要素となる。

(4) アフリカで開催されたことの意義

今回の会合がアフリカで開催され、アフリカ地域への特別な配慮がみられたことは、「開発」を主眼とした本会合を特徴づけているといえる。実施文書においては、エネルギー分野で天然ガスの利用促進、再生可能エネルギーの導入促進に対する支援をすること、貿易分野でアフリカの最貧恵国からの先進国への輸出品に対し、ドーハ宣言の範囲内でその先進国市場へのアクセスを改善させ

ること等を明記するなど、先進国からアフリカ地域への相対的に手厚い支援措置が盛り込まれた。

この背景には、重債務貧困国^xに指定されている国の大部分がアフリカ地域に集中していること^{xi}、地球サミット以降、先進国と開発途上国間の南北格差が是正されていないという途上国側の主張があることに対し、先進国側が理解を示すという意味があったと考えられる。

* * 参考文献 * *

- 1) the International Institute for Sustainable Development, Earth Negotiations Bulletin, Vol22, No.41 ~ No.51, 2002
- 2) World Summit on Sustainable Development Plan of Implementation, Advance unedited text, 4 September 2002
- 3) World Summit on Sustainable Development Plan of Implementation, Advance unedited text, 12 June 2002
- 4) United Nations Department of Economic and Social Affairs, Global Challenge Global Opportunity Trends in Sustainable Development, August 2002
- 5) UNFCCC, Kyoto Protocol Status of Ratification Last modified on 27 September 2002, <http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>
- 6) 日本政府代表団、持続可能な開発に関する世界首脳会議(ヨハネスブルグ・サミット)(概要と評価)、平成14年9月4日、
- 7) 昭和シェル石油株式会社、Quality、No.141、2002年
- 8) 地球産業文化研究所、ニュースレター、2002年5月
- 9) 桜美林大学産業研究所、産研通信、No.52、2002年1月
- 10) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会、新エネルギー部会報告書~今後の新エネルギー対策について~、2001年6月

* * 脚注 * *

- i United Nations Convention on Environment and Development : 国連環境と開発会議(通称:地球サミット)
- ii 21世紀に向けた環境と開発に関する世界の行動計画で、社会的・経済的側面、開発資源の保護と管理、主たるグループの役割の強化、実施手段の4つのセクションから成る。
- iii Millennium Development Goals : MDGs, 2000年9月にニューヨークで開催され、147ヶ国の国家元首を含む189の加盟国が参加した国連ミレニアム・サミットにおいて採択された国連ミレニアム宣言と、1990年代に開催された主要な国際会議やサミットで採択された国際開発目標を統合し、開発のための共通の枠組みとしてまとめられたもの。MDGsは2015年までに達成すべき目標として(1)貧困と飢餓の撲滅、(2)普遍的初等教育の達成、(3)女性の地位向上、(4)乳児死亡率の削減、(5)妊産婦の健康の改善、(6)HIV/AIDSを中心とした感染症疾病の蔓延防止、(7)持続可能な環境の確保、(8)開発のためのグローバル・パートナーシップの推進、を掲げた。(8)には、政府開発援助の増額、市場へのアクセス拡大、債務管理を通じた国の持続可能性の強化が盛り込まれた。
- iv 1999年にドイツのボンで開催されたCOP5でドイツのシュレーダー首相をはじめ多くの国の大臣たちが、「京都議定書をWSSDの開催期間中に発効させる」ことを呼びかけた。この目標は、2000年のミレニアムサミットにおいても確認されていた。
- v カシヤノフ首相は9月3日の全体会合において、「ロシアは現在京都議定書の批准を準備中であり近々批准するであろう。」と述べた。
- vi クレティエン首相は、9月2日、今年の年末までに議会において京都議定書批准の可否に関する採決を諮ることを表明した。
- vii 再生可能エネルギーは、水力、地熱、太陽光、風力、潮力、波力、およびOECD諸国におけるバイオマスを含んでいる。バイオマスには、薪炭等の伝統的なバイオマスエネルギー、生物由来の気体、液体燃料、産業廃棄物、および都市系廃棄物が含まれる。
- viii 2000年に欧州委員会によって欧州議会および閣僚会議に提出された再生可能エネルギー指令案では、EUの一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を2010年までに12%にするという目標が設定されている。
- ix 日米欧の電力事業者団体は、共同で意見書を発表した。その中で、先進国の電気事業者の目標として、「生活の質を向上するため、高信頼度で適切な価格で、環境にも責任を担った電気を供給すること」を明言した。また京都メカニズムが、開発途上国への技術移転の有効な手段であることを提示した。
- x Heavy Indebted Poor Countries : HIPCs, 1996年にIMF及び世銀により認定された。認定の基準は、1993年の一人当たりのGNPが695ドル以下であり、1993年時点での現在価値での債務合計額が輸出金額の2.2倍以上、もしくはGNPの80%以上である国。
- xi 全世界で42カ国あり、内34カ国がアフリカ地域にある(2002年3月現在)。

低エミッション石炭エネルギー利用システムの先導研究開発について

(ハイパーコール燃焼ガスタービン複合発電システムの実用化に向けて)

(財)石炭利用総合センター 事業部 篠崎貞行

まえがき

化石燃料の90%以上を海外からの輸入に依存している我が国にとって、21世紀のエネルギーセキュリティと地球環境保全を両立させるためには埋蔵量が豊富なエネルギー資源を環境に優しい技術で、且つベストミックスで利用する事が必要である。特に石炭は埋蔵量が多く、価格も低廉で、長期的に安定供給が可能な化石エネルギーとして位置づけられが、単位発熱量当たりのCO₂排出量が他の化石燃料より多く且つ灰分や微量元素等の不純物を含んでいるため地球温暖化や環境への影響が大きく、利用を進める上で制約も大きい。

このため我が国では石炭利用技術開発の長期戦略として石炭利用に当たってのCO₂排出量を1995年の排出レベルから2020年には20~30%削減、2030年以降には天然ガス並みのCO₂排出量、即ち30%以上削減が可能な「利用技術の開発」を行うことを目標としている。

現在、CO₂削減に有効な技術としてIGCC、A-PFBC、IGFC、CO₂回収型水素製造技術等々が開発されているが、これらとは別なタイプの新しいメニューとして、ガス化炉が不要で、「CO₂削減率も大きく、運転制御が容易、」と予想されるハイパーコール直接燃焼ガスタービン複合発電システムの開発に取り掛かった。

現在は先導研究が終了し、技術の確立の見通しが得られ、コスト的にも競争力があることが予測できたのでここに紹介する。

なお本先導研究開発は産業技術総合研究所の基礎研究¹⁾において、実験室規模ではあるが、石炭を特殊な溶剤等を用いて抽出操作を行い「無灰の石炭が高収率で得られたこと」をベースに組み立てられ、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託事業により「先導研究開発」として進めたものである。

1. 研究内容

1.1 研究開発のコンセプト

本技術開発の最終目標は 図1.1.1に示すように石炭から溶剤抽出により無灰炭(以下ハイパーコールと呼ぶ)を製造し、それをガスタービンで直接燃焼し、高効率な

ガスタービン複合発電システムの開発を目指すものである。溶剤抽出残渣炭は灰分を15%前後にコントロールし、既存技術の微粉炭発電用燃料として利用することとしている。

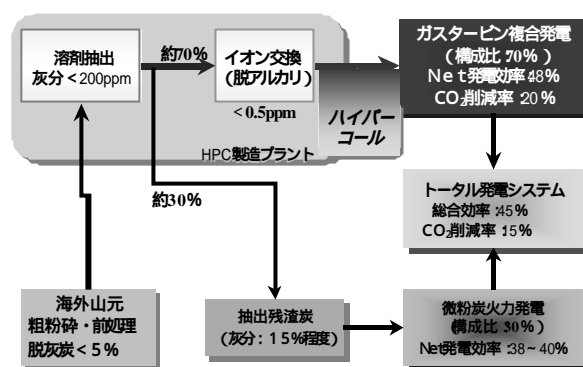


図1.1.1 ハイパーコール利用高効率発電システムのコンセプト

1.2 ハイパーコール利用高効率発電システム開発に於ける主な技術開発課題

このプロジェクトを完成させるために解決すべき主な技術課題は下記するように「ハイパーコール(以下HPCと略す)製造技術の開発」と「ハイパーコールのガスタービンへの適用技術の開発」である。

(1)ハイパーコール製造技術の開発

選択粉碎脱灰技術開発：前処理脱灰操作で溶剤抽出：残渣炭の灰分が15%前後になるように山元で予め5%程度まで脱灰する。

溶剤脱灰技術開発：無灰のクリーンな石炭の製造及びGT翼の磨耗防止のために灰分を200ppm以下まで除去する。

脱アルカリ技術開発：GT翼の腐食防止のためにアルカリ分(Na+K)を0.5ppm以下まで除去する

(2)ガスタービン等適用技術の開発

HPCのガスタービン燃焼器への適用性を評価する。

HPC焚きガスタービン複合発電システムを構築し、発電効率を予測し、LCAによるCO₂負荷を評価する。

1.3 ハイパーコール製造技術に関する研究

1.3.1 ハイパーコールの品質目標

ハイパーコールの品質目標は文献²⁾³⁾等を基にガスタービン側の技術ニーズを反映して表1.3.1のように定めた。

表1.3.1ハイパーコールの品質目標

	単位	許容値
灰分	ppm	< 200
Na+K	ppm	< 0.5
V	ppm	< 0.5
S	wt%	< 0.5
Ca	ppm	< 2
収率	%	> 60

1.3.2 ハイパーコール候補炭

ハイパーコール候補炭としては適用範囲が広いことが望ましいので、実現性(資源量、品質、灰融点、燃費比)、炭種の広がり(灰分、石炭化度、亜青炭~瀝青炭、国)の観点から、豪州炭、中国炭、インドネシア炭:合計8炭種について選定実験を進めたが、ハイパーコールの収率は軟化溶融開始温度と相関⁹⁾することが判ったので、収率向上の観点から軟化溶融開始温度が比較的低い瀝青炭2炭種(豪州炭:ストラットフォード炭、中国炭:エンシュウ炭)に絞り込んで研究を進めた。

2. 現在までの研究成果の概要

2.1. ハイパーコール製造技術に関する研究

2.1.1 選択的粉碎脱灰技術開発(前処理部門)

この前処理は溶剤抽出残渣炭の灰分を15%前後にコントロールするために、事前に石炭中の鉱物質を石炭から単体分離させ、脱灰を容易にする技術を開発するものであるが、既存技術で対応ができることが判ったので、本稿での紹介は省略する。

2.1.2 溶剤脱灰技術の開発

(1) 最適溶剤の選定

溶剤を用いて石炭から有機質を高収率で抽出するためには、石炭が溶融状態になる350以上の高温での抽出が必要である。このためには高温下においても溶剤自身は変化せず、石炭と反応しない、安定な溶剤が必要である。

そこで石炭に対して高い溶解力を持つ溶剤や石炭の基本構造である2員環状化合物溶剤の中からN-メチルピロリドン、テトラリン、1-メチルナフタレン等8種類の溶剤について検討し、最終的には石炭の基本構造である2

員環状化合物で、水素供与性のない溶剤として「1-メチルナフタレン(以下1-MNと記す)」を選定し研究を進めた。

(2) 1-メチルナフタレンの候補炭に対する抽出特性⁴⁾
2環芳香族で、且つ水素供与性を持たない、1-MN溶剤を用いて350以上でストラットフォード炭(以下STF炭と記す)、エンシュウ炭(以下CE炭と記す)を抽出したところ、図2.1.1に示すように両者とも概ね70%の抽出率が得られた。そして石炭への付加反応による溶剤の損失も極少であることが判った。

一方、抽出炭の灰分は図2.1.2に示すように候補炭2炭種とも目標値の200ppmを達成できた。

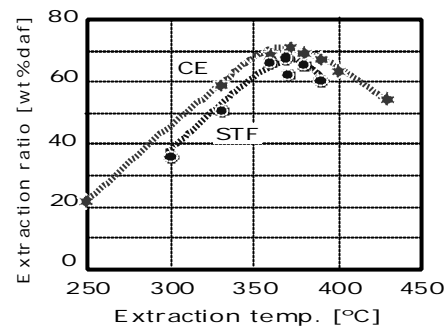


図2.1.1 1-MNによる候補炭(CE,STF)の温度-抽出率

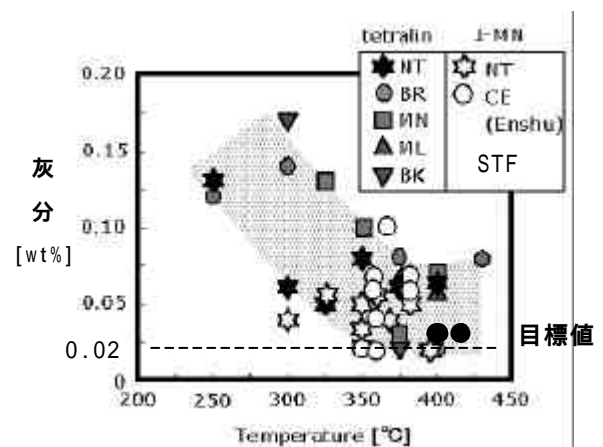


図2.1.2 候補炭(CE,STF)の抽出温度と灰分

2.1.3 脱アルカリ技術の検討

ハイパーコール製造の実プロセスにおけるアルカリ除去は高温の抽出溶剤系で実施することが経済的には有利なので、高温の抽出溶剤系で効果がある無機系イオン交換剤を選定し、脱アルカリ法を開発した。1例としてSTF炭抽出炭について無機系イオン交換剤を用いて、1-MN溶剤系、高温操作で脱アルカリ実験を行った。(Na+K)分を0.5ppm以下にすることは至難の技であるが、その結果は表2.1.1に示すとおり、ハイパーコール中のアルカリ(Na+K)は0.5ppmと目標値を達成することができた。

表2.1.1 脱アルカリ結果⁴⁾

〔 溶剤抽出炭 (STF炭)
イオン交換温度 : :200 〕

		STF炭	
元素	単位	原料	HPC
Na	ppm	2.6	0.5
K	ppm	0	0

2.1.4 ハイパーコールのキャラクターゼーション

製造したハイパーコールをガスタービンに適用するためには特性評価が重要であり、ガスタービンに適用するための重要項目についてキャラクターゼーションを行った。

(1) ハイパーコールの粒径分布

溶剤抽出後のハイパーコールの粒径はガスタービン燃焼速度に影響するので噴霧乾燥後のハイパーコール粒径を顕微鏡で調べた結果を図2.1.3に示す。

図2.1.3から分かるようにハイパーコールの単一粒子は5~15 μm 程度で、それが集合し30 μm 程度の凝集体を形成している。この凝集体は弱い結合であり、簡単に解砕でき、燃焼性向上のために小さい粉碎動力で10 μm 以下に調整することは可能と予想している。



図2.1.3 ハイパーコールの粒子径

(2) HPC中の灰粒子径

ハイパーコールの低温灰化灰の顕微鏡観察結果を図2.1.4に示す。ハイパーコール中に存在する灰の単一粒子はナノミクロンオーダーであり、燃焼時に極端に凝集しなければ、ガスタービン翼への影響は少ないものと推定している。

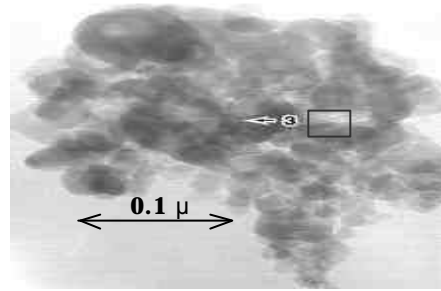


図2.1.4 HPC中の灰粒子(低温灰化灰)

(3) ハイパーコール燃焼灰の粒径

実用時はハイパーコールの燃焼灰がガスタービン翼に衝突するので燃焼灰の粒径が重要となる。

ハイパーコール燃焼灰の例として1000 加熱処理灰についてTEM写真にて観察した。(図2.1.5参照)

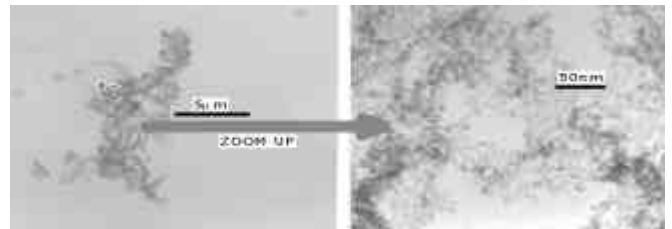


図2.1.5 ハイパーコール燃焼灰の粒径例

燃焼灰は5~15 μm の凝集体を形成しており、凝集体の結合力が弱ければガスタービン翼への影響は少ないと予想される。しかし詳細については次の開発ステージの大量サンプルによる燃焼実験灰のキャラクターゼーションの結果を待たねばならないが、ガスタービン翼の磨耗速度の予測結果では粒子径が5 μm であれば0.5mm/10⁴ hrであり、1年間の連続運転は可能と推定される。

(4) HPCの性状例

STF炭から得られたハイパーコールの性状を表2.1.2に示す。ハイパーコールは原炭に比べ、発熱量が約10%増加、燃料比が小さくなっており、燃え易い石炭に改質されている。

(5) ハイパーコールの特長例

- ハイパーコールは表2.1.3からも判るように
- ・ 発熱量が高い (36.8MJ) : 使用に当たっては石炭消費量が減少、即ちCO₂排出量が減少する。
 - ・ 灰分は200ppm : 灰処理費が不要。
 - ・ ハイパーコールの粒径は5~15 μm と微細粒子 : 燃焼には効果的
 - ・ 燃焼灰 (加熱処理灰) の単一粒子はナノメートルオーダー

で数 μm に凝集している：ガスタービン翼の磨耗抑制に効果的である。

表 2.1.3 HPCの性状例

	STF炭	
	原炭	HPC
抽出率 w %daf	-	69
燃料比	1.3	0.9
総発熱量 MJ	34.2	36.8
灰分 w %	5	0.02
アルカリ (Na+K) ppm	2.6	0.5
元素分析 w % daf		
C	87	87.7
H	5.5	5.3
O	4.6	4.2
粒径 μm	-	5~30
燃焼灰の粒径例 μm	-	5~15

- ・微量重金属が減少している
- ・但しハイパーコール価格は原炭より1000~2000円 / t 程度高くなる。という特長を有している。

3. ハイパーコール利用高効率発電システムの構築

上記に示した特徴を持つハイパーコールをガスタービンに直接燃焼させる高効率発電システムを構築し発電効率予測する。

3.1 ガスタービン燃焼試験

ガスタービン燃焼器はCan型を適用することを念頭におき、燃焼温度は灰の融点の関係から1350 として検討を進めた。

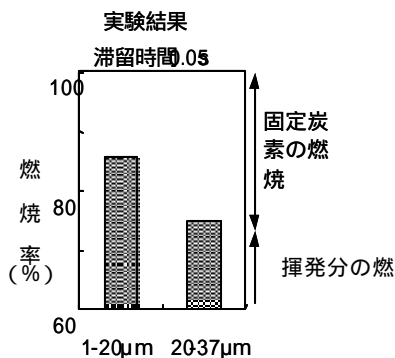


図3.1.1 HPCの燃え切り時間測定結果 (s)

ハイパーコールをガスタービンで直接燃焼させるためには、ハイパーコールは従来のガスタービン燃料に使用されている天然ガス(燃焼速度:0.01秒程度)や石油に比べると燃焼速度が遅いので、Can型燃焼器で燃焼させる法を検討した。

一例とし加圧微粉炭燃焼試験設備を用いて燃焼実験を行い、ガスタービンの燃焼条件即ち、温度:1350、空気比2.3倍、 O_2 濃度12%における燃え切り時間をシミュレーションした。粒径を微細化し、ハイパーコールの粒径を5~10 μm 以下にすれば燃え切り時間は0.05秒以下となり、Can型燃焼器で使用可能の領域である。

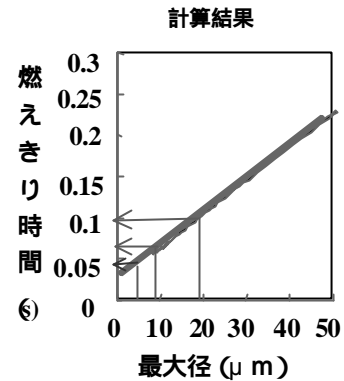


図3.1.2HPCの粒径と燃え切り時間(s)

3.2 ハイパーコールガスタービン発電システムの概念設計

ハイパーコール利用ガスタービン発電システム化の検討に当たって ガスタービン入り口温度が発電効率を左右するので、効率向上と灰の融点等を考えて、ガスタービン入り口温度を1350 で検討することにした。ガスタービン入り口温度と発電効率 (HHV基準) の関係を図3.2.1に示す。1350 のGT入口温度の時のハイパーコール利用発電システムの送電端効率 (HHV基準) は48%前後である。

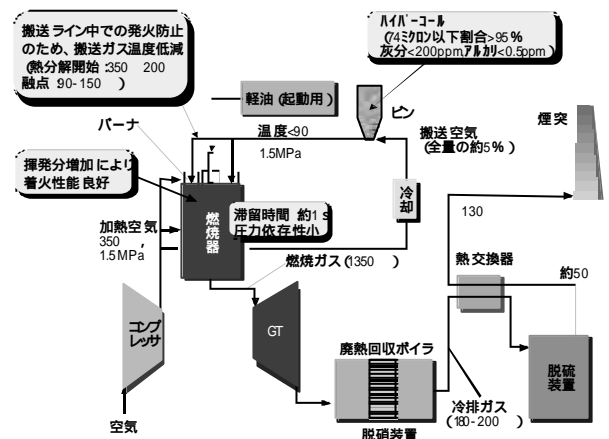


図 3.2.1 HPC利用発電システムの概念

ハイパーコール利用高効率発電システムの概念図を図3.2.1に示す。この送電端効率48%のHPC利用発電システムは現在開発中の高効率発電技術体系の中で、IGFCに次いで2番目に高い発電効率として位置づけられる。

表4.1.1 STF炭ケースのLCAによるCO2負荷評価（単位：万CO₂t / 30年）

	微粉炭発電システム	IGCC（酸素吹き1300級）	HPC発電システム（1350）		トータル発電システム	
送電端効率（HHV基準）	38%	45%	48%		44.5%	45.5%
HPC収率			64%	70%	64%	70%
採掘・選炭	33	27	25	23	20	20
輸送	121	98	90	90	99	98
粉砕	17	14	3	3	6	6
HPC製造工程			718	656	506	498
発電設備・燃焼	17,095	13979	12,922	12282	14,151	13,929
総計	17,266	14,118	13,758	12,922	14,782	14,551
CO ₂ 削減原単位： kg - C / k w h	0.239	0.195	0.190	0.189	0.205	0.201
CO ₂ 削減率 %	基準	18.2%	20.3%	20.7%	14.4%	15.7%

4. 環境調和性評価技術開発

ハイパーコール利用発電システムは、燃焼前に前処理脱灰・溶剤脱灰・脱アルカリプロセスから成るハイパーコール製造プロセスが必要であり、これにより微粉炭火力発電システムと比較するとコスト的にもCO₂負荷の面やや不利であることが推定されるので、このような前処理プロセスを導入した場合のCO₂削減効果を定量的に把握するためにはLCAによるCO₂負荷評価が必要である。

そこで、石炭採掘、輸送、ハイパーコール製造、利用までの一連の工程におけるエネルギー消費量を調査し、CO₂排出量をLCA手法を用いて評価することとしている。なお当該先導研究開発の目的はCO₂削減なのでLCA手法によるハイパーコール利用高効率発電システムのCO₂負荷を、既存技術の微粉炭火力（送電端38%基準）およびIGCC（酸素吹きTampa設計を基準）と比較評価した。

4.1 ハイパーコール利用高効率発電システムのLCAによるCO₂負荷評価

LCA手法によりハイパーコール発電システムの工程別CO₂排出量を表4.1.1に示す。

ハイパーコール発電システム及びこれと微粉炭発電システムと組み合わせたトータル発電システムのCO₂負荷は既存技術の微粉炭発電システム（送電端効率38%）と比較し排出量削減率は夫々20.7%、15.7%であり、大きなCO₂削減効果が期待できる。

5. 実現性について

(1) 市場性

対象市場は発電分野であるが、今後計画される新增設の発電設備及びリプレース火力、IPP設備、大容量の自家発電設備の新設及びS&B需要等が対象となり、IGCCとの棲み分けが可能である。

(2) 競争力

1) 技術

信頼性の検証、運転・制御の容易性等が確認されればピークセービング用としても効果的であり、普及していくものと推定される。

2) 価格競争力

現段階では正確なコスト試算は難しいが、LCAの基礎データ等を活用して種々の仮定のもとで概略のコスト試算を行った。

その結果では発電コストはIGCC並み、建設コストもガス化炉が不要なので、IGCC並みかやや低めであり、将来は競争力が出てくると考えている。

今後、本技術の完成まで幾多の技術ハードルがあるが、関係者が一丸となってこれらを乗り越え、完成させることを期待している。

参考資料

- 1) 飯野 雅、鷹觜 利公他Fuel ; 67 : 1639 : 1988
- 2) 日本エネルギー学会 ガス化委員会編「石炭の高温ガス化複合発電」
- 3) 平成13年3月, NEDO・(財)石炭利用総合センター、「低灰分炭直接利用ガスタービン発電システム導入の可能性調査」
- 4) 平成13年3月, 14年3月, NEDO・(財)石炭利用総合センター、「低ミッショソ石炭I初ギ'-利用システム先導研究開発」報告書

中国電力の石炭灰利用技術

中国電力株式会社 土木部石炭灰有効活用プロジェクト副長
工学博士 斉藤 直

1. 石炭灰を取り巻く環境

近年、エネルギー源の多様化の推進、電力需要の増加を背景として、原料確保の安定性と経済的優位性から石炭火力発電所の建設が推進されている。その結果、発電に伴う副産物である石炭灰の発生量は飛躍的に増加し、Fig.1に示すように2010年には全国で年間1,000万トンを超える規模に達すると予測されている¹⁾。これまで、石炭灰は主にセメント原料やコンクリート用混和材などへ有効利用されてきたが、現状でも約40%が管理型の産業廃棄物として埋立処分されている。また有効利用のうち、約70%は粘土代替を中心とするセメント原料への利用である。日本におけるセメント需要は、昭和56年を契機として公共事業の減少などからその需要は低下しており、セメント分野への有効利用にも限界があるものと考えられる。このような背景の中、今後も石炭灰の発生量が増大する状況の中で、その他の有効利用方法の拡大が重要な課題となっている²⁾。

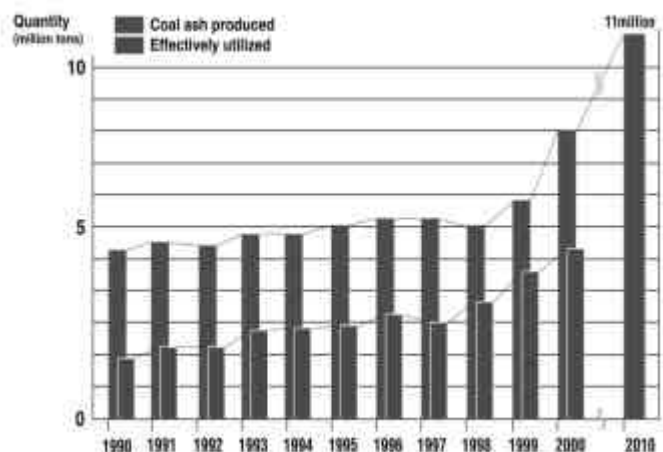


Fig.1 日本全国の石炭灰発生量の推移

中国電力においても、Fig.2に示す5箇所の石炭火力発電所が現在稼働中で、年間約75万tの石炭灰が発生しており、この内の約70%を有効利用してきたが、その有効利用の大半をセメント分野に依存しているなど偏った有効利用形態とな

っていた。

一方、石炭灰は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」において「ばいじん」に該当し、管理型の産業廃棄物に指定されている一方、「資源有効利用促進法」において、石炭灰は事業者が再生資源としての有効利用を促進しなければならない指定副産物に定められている。しかしながら、使用者側である国・地方自治体に対して定められている「グリーン購入法」における環境物品については、フライアッシュセメントや二次製品にとどまっておらず、石炭灰自体の有効活用について公共工事での活用に対する調達義務・努力義務は定められていないのが実情である。

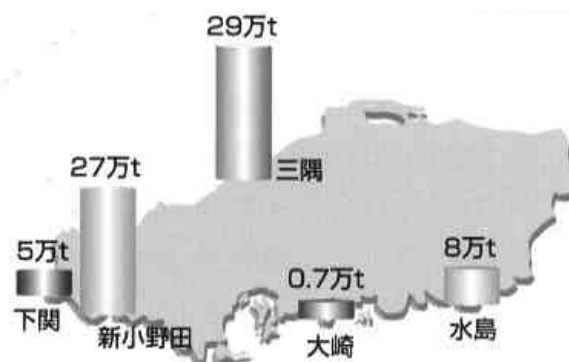


Fig.2 中国電力の石炭灰発生量(2,000年)

このように、各種の法律の中で、石炭灰の有効利用は排出者側と活用側のアンバランスな位置付けの中にあり、このことは排出者である電力会社自身がより一層の努力をする必要があることを意味している。

2. 技術開発の基本姿勢

これまで、石炭灰の有効利用については、日本全国の電力会社を中心として多数の技術が開発されてきた。しかしながら、これまでの技術開発は、高品質を求め経済性に劣るものや石炭灰の品質を選別する必要があるなど顧客が低コストで活用できる本来の意味の実用化技術とは言えないものが多かった。中国電力では、石炭灰のうち最も発生比

率の高い微粉炭灰の原粉（広義でのフライアッシュ、以下「石炭灰」と称す）を多量に用いた実用化技術の開発に、次のような基本的な取り組み姿勢で取り組んできた。

付加価値を求めて高コスト化しない技術で、顧客のコスト縮減にもつながる技術を対象として開発に取り組む。Fig.3に示すように、将来のユーザーとなる官庁、品質等を保証できる学識経験者との産官学の取り組みを通じて、開発と同時に石炭灰の有効性の理解・浸透を図る。将来材料を購入して実際に取り扱うこととなるゼネコン各社と実際のフィールドを対象とした実証試験を通じ、品質確保～施工システム化まで一貫した技術開発する。石炭灰の品質変動に大きく影響を受けない技術を対象とし、品質変動に対する簡易な評価手法により容易に取り扱える技術を対象とする。これらの基本的考え方を総括すると、「どのような石炭灰でも活用でき、技術開発が完了する時点であらゆる場所で既に実用化されている」技術の開発に取り組んできた。たま、開発の対象としては、コストをかけない状態、つまり廃棄物として出てきたままの状態の石炭灰を活用する技術の開発を大前提とした。

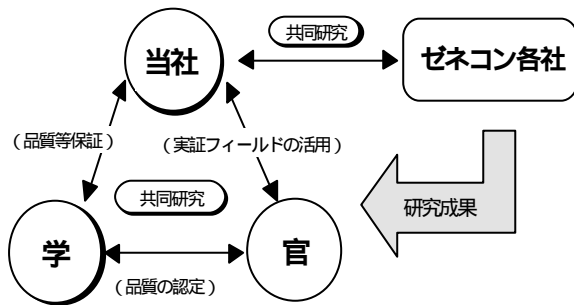


Fig.3 中国電力の開発体制

3. 開発技術の概要

3.1 技術開発項目

当社の開発してきた主要な技術は、Table.1に示すとおりである。現在、いずれの技術も公共工事に多数活用されるに至った当社のベースとなる技術である。

Table.1 主な開発技術

項目	具体的用途
Hi ビーズ (海砂代替材)	石炭灰を造粒機械で低コストで造粒し、SCP・SD等の護岸工事用材料等への活用。
Geo Seed (固化処理材)	軟弱地盤の固化処理材として、セメントや石灰等の硬化材の代替材として利用。

Neo Ash クリート (新素材コンクリート)	石炭灰を大量活用したリサイクルコンクリート。結合材として、石炭灰を活用し、骨材に重量スラグを活用する。
EP ショット (吹付け材)	石炭灰をセメント・細骨材の代替材として活用したNATM等の吹付けコンクリート。
エアモルタル (軽量盛土・充填材)	細骨材を全量石炭灰置換したエアモルタル。セメントおよび起泡剤の添加量を削減。
路盤材	石炭灰に固化材を少量添加した改良路盤。
細骨材代替	コンクリートの細骨材代替として活用し、セメントの低減と併せて活用する。

3.2 Hi ビーズ（護岸工事用海砂代替材）

(1) 製造技術^{3),4)}

瀬戸内海地方の海砂採取禁止・規制を受けて、護岸工事に広く使われてきた海砂の慢性的な不足により、低コストの代替材の開発が求められている情勢のなか、当社では石炭灰を大量に使用した経済的な海砂代替材を製造する技術を開発した。

これまでも、石炭灰を主材料とした海砂代替材の開発は行われているが、従来の技術では石炭灰にセメントを加えて混合した後、造粒機械による造粒過程を経て、所要粒径の石炭灰造粒物を製造する必要があった。当社では、連続式ミキサを使って材料を混合する過程で造粒を同時に行い、石炭灰固化物を製造する技術開発に取り組む、他の海砂代替材の市場価格と同程度で提供ができる代替材を開発した。

造粒機械は、低コスト製造が可能となるよう製造能力を重視して Fig.4 に示すような横軸の連続式ミキサを採用した。このミキサは、円筒形のミキサ本体中を数枚の攪拌翼を有した主軸が回転するものであり、この攪拌翼が粉体粒子に均一に水を与える共に、各粒子が接触することにより造粒が可能な構造となっている。



Fig.4 連続式ミキサ概念図

石灰灰は、その粒度分布からはシルト・粘土にほぼ分類されるが、物理的性質では水分量によって液体状や固体状にならないなど、非常に微細な砂といった特性を持っているために高い締固め性能を有しているなど優れた特性を持っている。この反面、保水性がないうえ水分分離の生じやすいなどから造粒しにくい性質を持っている。この性質を改善するため、保水材としてベントナイト等の粘土分を造粒物の材料として微量添加することにより、ミキサ混合時の造粒に必要な水分確保が可能となり、保水粘土分が核となって石灰灰等の粒子が結合するミキサ造粒の技術を確立した。

(2) 造粒物の品質評価

a. 材料評価^{4),5)}

Hiビーズ(Photo.1)の物理特性を Table.2 に示す。Hiビーズの強度は、供試体に換算すると7~9N/mm²とコンクリートの50%程度の強度であり、突固めエネルギーを受けて細粒化するが、 $\phi = 38^\circ$ 以上の高い内部摩擦角を持つ材料である。また、長期的に粒子強度は増加するが、粒子同士が固結することのない安定した材料である。

Table.2 Hiビーズの物理特性

基本配合	石灰灰:87%,セメント10%,粘土分3%,水:粉体量×20~24%	
形状	標準球形	
圧強強度(28日)	1.2~1.6MPa	
内部摩擦角(ϕ)	OEc	38.7°
	BEc	47.6°
突固密度(6Ec)	1.70~1.75t/m ³	
透水係数	OEc	1.46×10 ⁻⁴ cm/sec
	BEc	1.34×10 ⁻³ cm/sec
環境負荷	環境改善効果	
長期品質	強度	1年経過後増進
	透水性	1年経過後増進



Photo.1 Hiビーズ

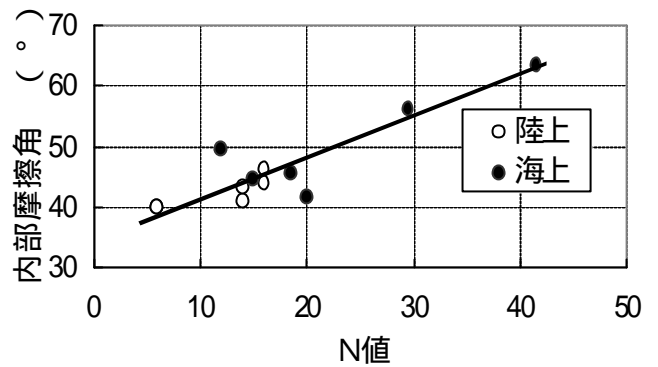


Fig.5 HiビーズのN値とφの関係

b. SCP材としての評価^{6),7),8),9),10)}

陸上・海上のSCP試験施工(Photo.2,3)を通じて、Fig.5 に示すとおり造成杭は高い内部摩擦角を持つことを確認した。現場管理指標となるN値については、GCPと同様に粒子が踊る現象が見られ、通常より低いN値となる。現在、これらの結果を踏まえて、設計・管理値を定め、公共工事への活用を行っている。



Photo.2 海上試験施工



Photo.3 陸上試験施工

c. S D材としての評価

S D材としては、排水性能が重要な問題であり、粒径の大きいH i ビーズをS D杭として活用した場合の周辺粘土の杭内への侵入による排水径の減少や施工に伴う細粒化による排水性能低下の問題が懸念された。これらの問題解決のため、Photo.4に示すような水槽規模の載荷試験によって、周辺粘土の杭内部への侵入がないことを確認した後、大規模な砂とH i ビーズの沈下特性を把握する試験施工を実施した。これらの結果、Fig.6に示すように砂と同等の沈下性能が維持できることがわかり、現場打設杭での透水試験の結果も砂と同等の性能を確保できる結果となった。現在、広島県大竹地区の造成事業でH i ビーズによるS D工事が進められている。



Photo.4 H i ビーズ杭の状況

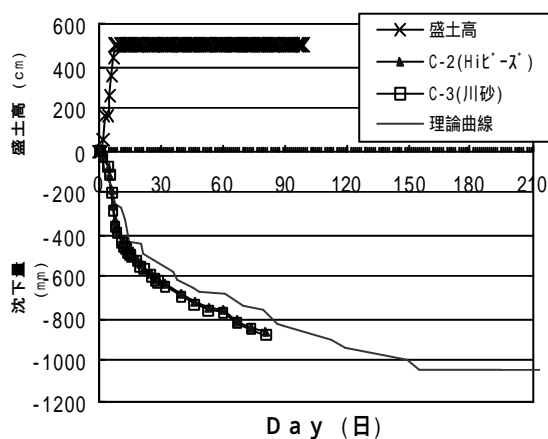


Fig.6 圧密沈下現場試験結果

d. 環境改善材としての評価

H i ビーズは、Fig.7に示すとおり海域の赤潮や閉鎖水域のアオコなどの原因となる窒素・リンの吸着効果が高く、現在瀬戸内海の汚染海域の改善材料として実証試験工事を実施している。

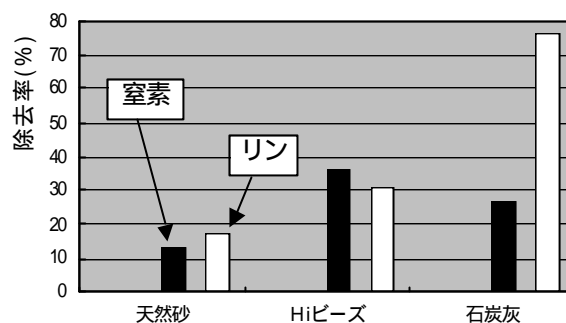


Fig.7 H i ビーズの富栄養物質除去能

3.3 GeoSeed (軟弱土の固化処理材)

(1) 石炭灰改良の基本特性^{11), 12), 13), 14), 15)}

浚渫土の埋立や陸上の後背低湿地などの軟弱地盤対策としてセメントや石灰などを改良材とした土壌改良が広く実施されている。当社では、石炭灰の改良材への適用性について、Table.3およびFig.8に示す多数の土質を対象として、室内試験と実規模大の実証試験を実施してきた。

Table.3 改良対象土一覧表

	土粒子の密度 (g/m ³)	自然含水比 W ₀ (%)	コンシステンシー			最大乾燥密度 (g/m ³)	最適含水比 W _o (%)	
			液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数			
陸上粘性土	島根県安来市	2.802	60.3	64.3	27.3	37	1.26	29.5
	島根県安来市	2.781	61.2	84.7	37.6	47.1	1.159	40.53
	島根県江津市	2.683	26.9	36	23.5	12.5	1.665	18.5
	山口県阿武郡	2.621	86.52	74.72	31.2	43.52	-	-
	島根県鞆川郡	2.611	65.2	80	46.9	33.1	1.189	37.7
	岡山県倉敷市	2.691	99.3	75	28.3	46.7	-	-
	岡山県倉敷市	2.662	129.6	98.3	36.5	61.8	-	-
	山口県下松市	2.677	46.3	65	28.6	36.4	-	-
	島根県西郷町	2.842	93.5	104.6	59.8	44.8	0.882	69.2
	島根県西郷町	2.979	37.1	57	28.7	28.3	1.443	32.8
	島根県松江市	2.523	38.9	50.1	30.9	19.2	1.561	19.7
	山口県小郡町	2.53	13.4	36.8	25.4	11.4	1.85	12.1
	鳥取県倉吉市	-	39	-	-	-	-	-
	鳥取県倉吉市	-	41.5	-	-	-	-	-
島根県出雲市	-	39.9	-	-	-	-	-	
陸上砂質土	島根県松江市	2.589	57.1	61.9	30.7	31.2	1.197	33.8
	島根県安来市	2.641	22.4	NP	NP	NP	1.617	19.78
	島根県鞆川郡	2.577	20.1	41.6	19.7	21.9	1.721	14.8
	山口県下松市	2.694	12.1	NP	NP	NP	-	-
	島根県鞆川郡	2.636	35.6	NP	NP	NP	1.666	19.8
	山口県小郡町	2.649	19.4	33.8	20.8	13	1.869	10.6
	山口県小郡町	2.645	22.1	30.5	20.6	9.9	1.846	12.7
	島根県松江市	2.535	27.8	37.83	25.66	12.17	1.633	18.8
	岡山県岡山市	2.639	46.4	-	-	-	-	-
	島根県兵田市	-	35.6	-	-	-	-	-
	島根県兵田市	-	35.2	-	-	-	-	-
	山口県小郡町	2.643	24.7	40.5	27	13.5	1.737	15.4
	岡山県岡山市	2.641	22.3	NP	NP	NP	1.737	15.4
	浚渫土	島根県松江市	2.636	403.5	145.3	49.4	95.9	-
島根県松江市		2.623	153	149.7	52.1	97.6	-	-
山口県小野田市		2.655	161.8	122.9	41.6	81.3	-	-
島根県松江市		2.666	157.7	123.7	32.3	91.4	-	-
島根県安来市		2.614	122.3	96.7	36.6	60.1	-	-

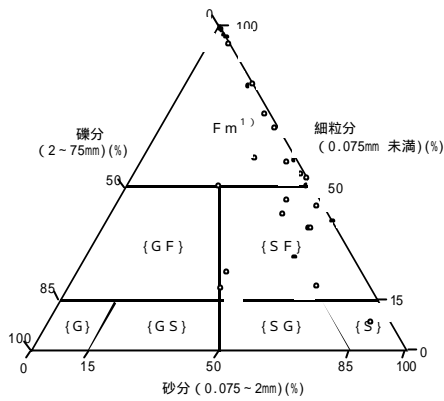


Fig.8 改良対象土の性状

これらの多くの地点で実施した試験結果によって、石炭灰の改良材としての効果は、以下に示すとおり、通常使われるセメント等の固化材にない優れた特徴を持っていることを明らかにした。

石炭灰を活用することにより、等の固化材量を大幅に削減できる。(Fig.9)

液性・塑性指数がNPである微細な砂の特性を持つ石炭灰を軟弱土に適量配合することにより、土の物性が砂質土系に改善され、施工上の取扱い性が優れた改良材となる。(Fig.10)

品質のバラツキも少なく、長期的にも安定した強度増進を図ることができる。

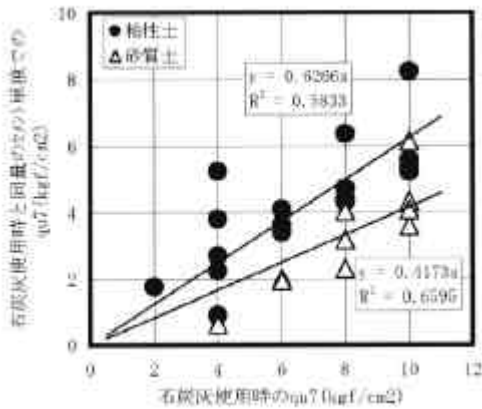


Fig.9 石炭灰の硬化作用

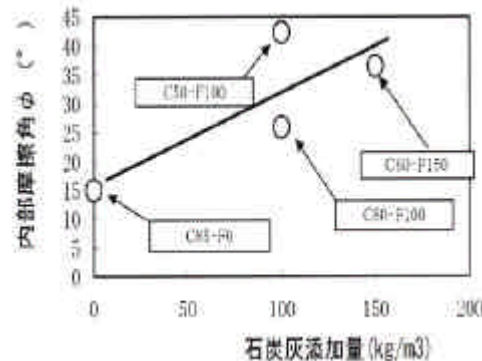


Fig.10 石炭灰による砂質土化

(2) 施工事例

これらの成果は「石炭灰を活用した固化処理マニュアル」として取りまとめ、国土交通省中国技術事務所との委員会成果としてオーソライズされており、多数の公共工事で活用を図っている。施工事例のうち、特色のある活用方法について、以下に紹介する。

a. 路床改良への適用事例¹⁶⁾

路床改良では、Fig.11 に示すとおり石炭灰の活用により所用のCBRを確保するために必要なセメント量を大幅に削減でき、現場で安定した品質を確保することができる。また、施工システム(国土交通省松江工事事務所と共同で特許出願)を構築し、安来道路・松江道路を皮切りに多数の路床改良に活用を図っている(Fig.12)。

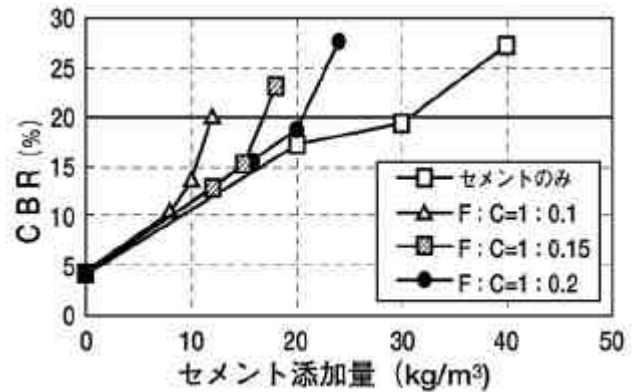


Fig.11 路床改良 C B R 試験結果

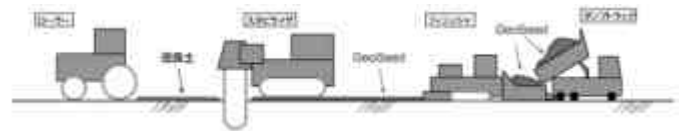


Fig.12 路床改良施工システム

b. 管中混合処理への適用事例¹⁷⁾

管中混合処理では、Fig.13 に示すとおり石炭灰の活用により非常に安定した強度発現性を引き出すことができ

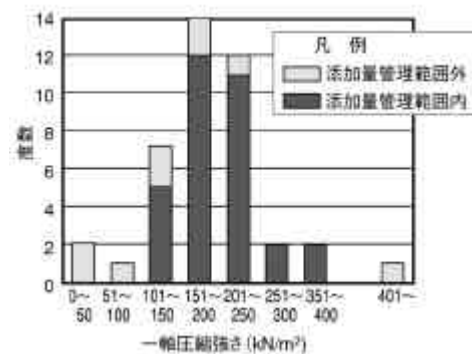


Fig.13 管中混合処理結果

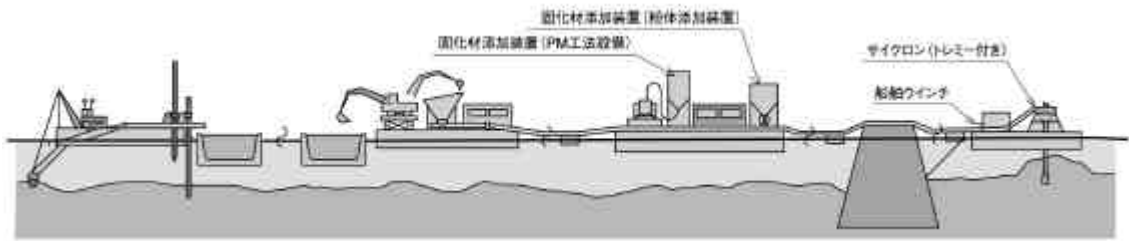


Fig.14 管中混合処理システム

る。この強度の安定化に当たっては、浚渫吹き込み土の密度測定と連動した添加システムを開発 (Fig.14) し、自社工事を始め、浚渫工事への適用を実施してきている。

c . 深層混合処理への適用事例^{18), 19)}

深層混合処理への活用については、これまでも国内で低強度の品質安定性を確保する目的で技術が開発されてきた。当社では、深層混合処理の結合材として石炭灰を活用する手法の開発を進めてきた。

混和剤によるスラリー性状の改善や自硬性のあるPFB C灰の活用について、各種の検討を重ね、実用化の見通しを得るに至っている (Photo.5)。



Photo.5 深層混合処理工事状況

3.4 Neo Ashクリート (新素材コンクリート)

(1) NAクリートの概念^{20), 21)}

NAクリートは、石炭火力発電所から発生する石炭灰を大量に配合したコンクリートを製造することを目的として、開発したリサイクルコンクリートである。石炭灰の硬化反応 (ポゾラン反応) が数十年続くものであるため、その硬化作用をできるだけ早く引き出すために、硬化促進剤として塩 (NaCl) を活用すると共に、硬化

Fig.15 NAクリートの基本配合

材として石炭灰を多量に配合できるように、骨材には、金属精錬過程から発生する重量スラグ等 (銅スラグ、電炉酸

化スラグ、転炉スラグ等) を目標とするコンクリート密度に応じて配合するものである。(Fig.15)

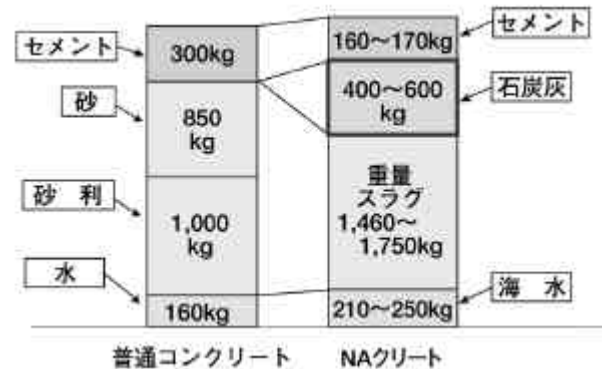


Fig.15 NAクリートの基本配合

(2) NAクリートの特色^{23), 24)}

NAクリートは、次のような優れた特性を持っており、現在島根県を中心として海洋コンクリートとして多数活用されている。

NAクリートは、普通コンクリートと比較して長期的に強度増進に優れたコンクリートで、28日材齢を基準とすると1年材齢で約1.4倍、5年材齢で約2.0倍に強度増進する。(Fig.16)

特に、海水と接する場所では普通コンクリートが劣化するのに対し、NAクリート海水によって強度増進する優れた特性を持っている。(Fig.17)

骨材容積の少ないコンクリートであり、普通コンクリートと比較して軟らかい性質

を持ち、衝撃の吸収能力に優れた折損の生じにくいコンクリートである。(Fig.18)

骨材容積は少ないが、破壊形態は普通コンクリートと同等の形態である。(Fig.19)

NAクリートの組織構造は非常に緻密であるため、引張強度が大きく、耐摩耗性に優れたコンクリートである。(Photo.6, Fig.20)

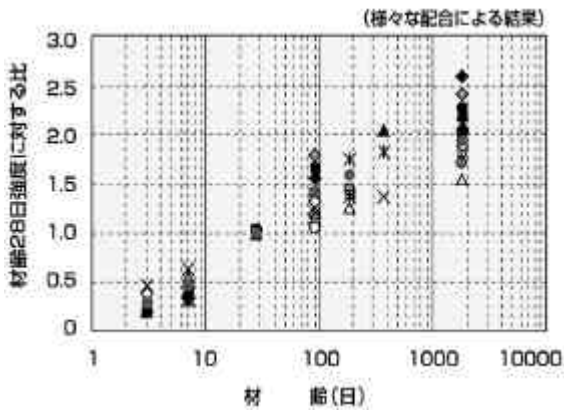


Fig. 16 材齢とペースト強度の関係

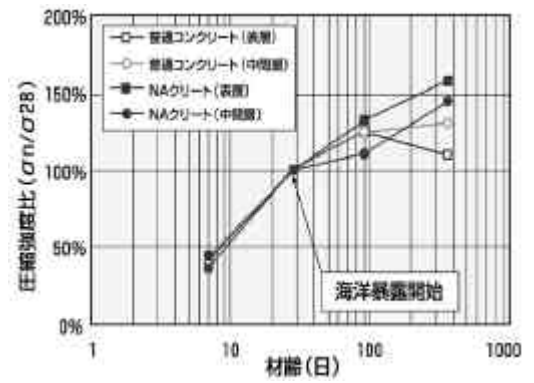


Fig. 17 海洋暴露試験結果

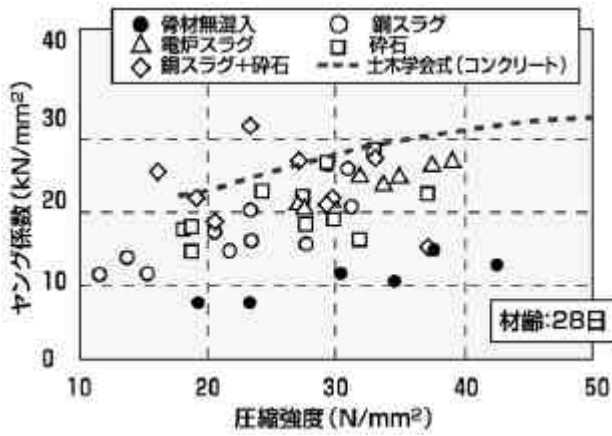


Fig. 18 強度とヤング係数の関係

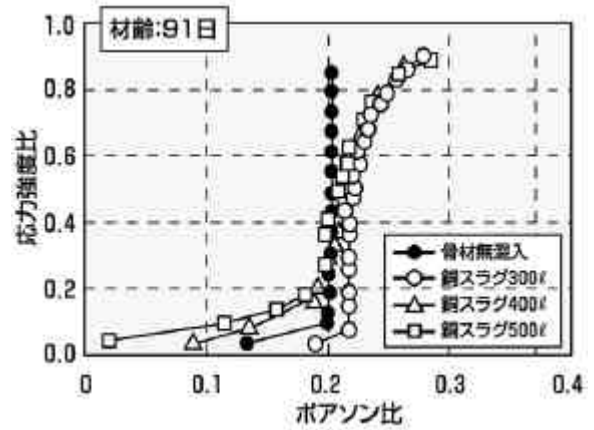


Fig. 19 破壊特性

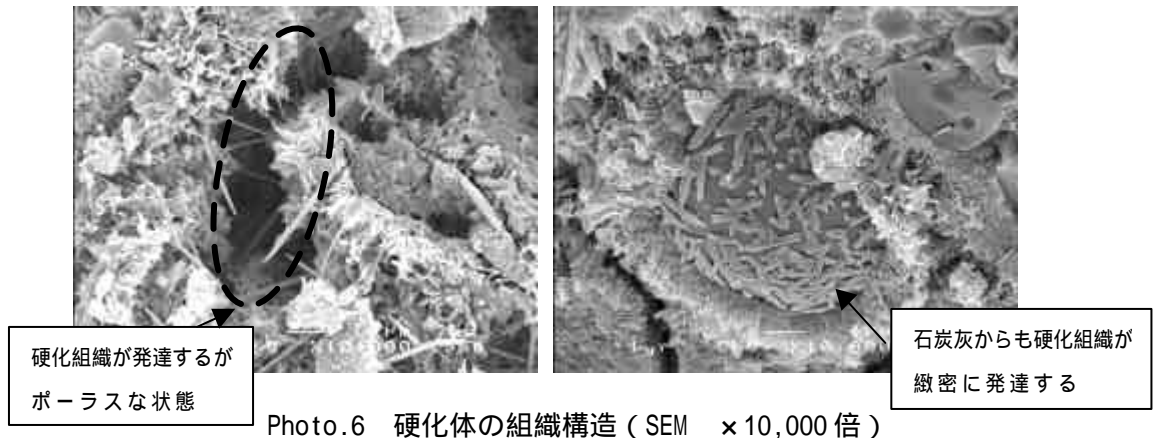


Photo. 6 硬化体の組織構造 (SEM × 10,000倍)

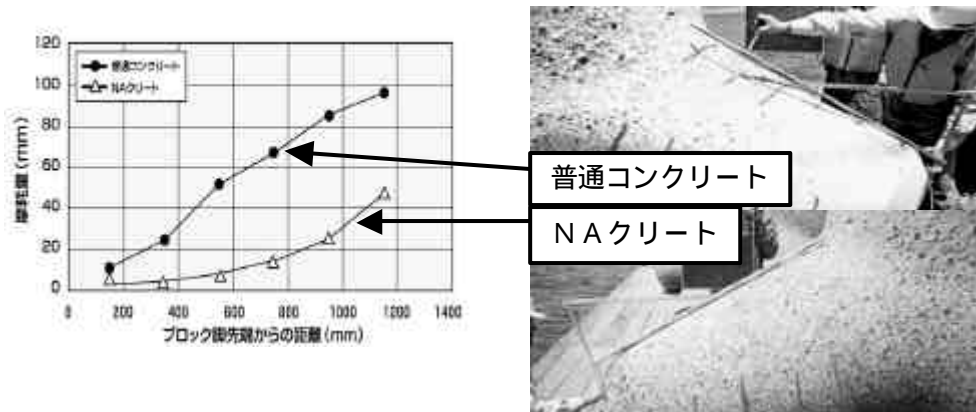


Fig. 20 摩耗性暴露試験結果

現在、凍結融解作用の著しい山間部やケーソン等の構造鉄筋を有するRC部材への適用について技術的な検討を行っている。

3.5 EPショット（吹き付けコンクリート）

(1) 石炭灰活用の特性^{25),26),27),28)}

石炭灰をセメントの代替材として活用すると共に砂の一部置換を行なう技術であり、次のような特性を持つ技術である。

急結材を添加しないベースコンクリートでは、石炭灰の置換と共に基準材齢で強度低下するが、材齢の進行に伴い強度増加する（Fig.21）。

急結材の添加後の強度は、石炭灰を置換しても強度低下しない（Fig.22）。

リバウンド量を5～10%低減できる。

発塵量の大幅低下が図れ、坑内の作業環境の改善が図れる（Fig.23）。

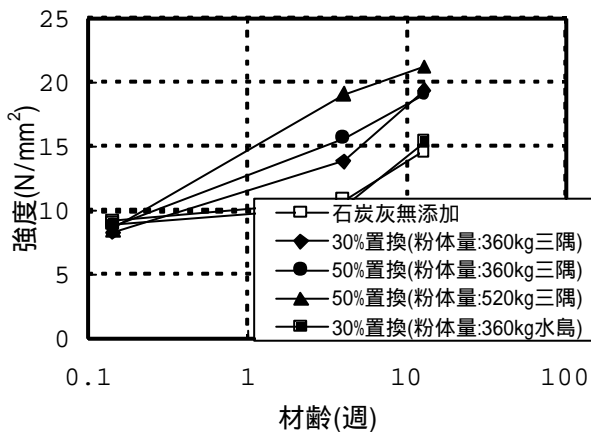


Fig.21 ベースクリート強度

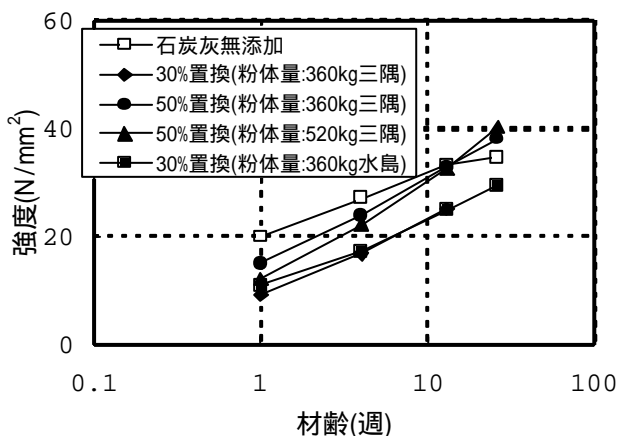


Fig.22 吹付コンクリート強度

(2) 現場活用事例

a. 乾式吹付コンクリート

当社の奥津第二発電所立坑のNATM支保へ全面採用を図った。当工事では、乾式吹付にもかかわらず、粉塵の発生量も湿式吹付と同程度まで改善されている(Photo.7)。

b. 湿式吹き付けコンクリート

山口県平瀬トンネルにおいて国内初の本格採用され、所用の品質を満足して無事に工事を完了した。現在、中国地方の7ヶ所のトンネルで工事を進行中である(Photo.8)。

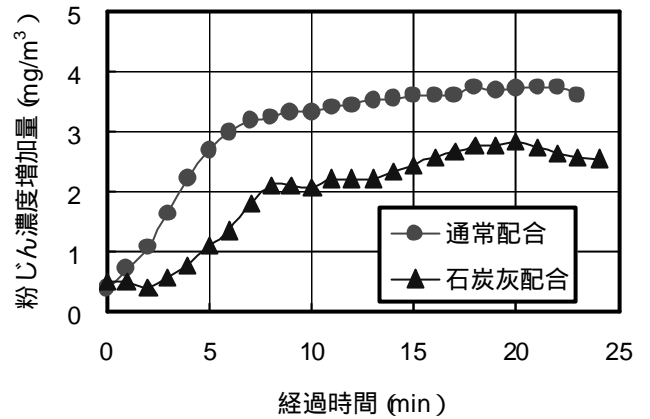


Fig.23 坑内発塵量測定結果



Photo.7 乾式NATM (奥津第二発電所)



Photo.8 湿式NATM (平瀬トンネル)

3.6 その他の技術

(1) エアモルタル^{29), 30)}

エアモルタルの使用材料である細骨材を全量石炭灰に置換する技術で、次のような特性を持っている。

これまでの砂モルタルの限界圧送距離 800m であったが、石炭灰の活用により約 2.1km の長距離圧送が可能である。

セメントおよび起泡材の使用量が減少でき、経済的なコンクリートとなる。

長期的に強度増進するため、現場暴露条件下で優れた耐久性を持つ。

現在、急峻地の地滑り地帯での道路盛土やトンネル内の充填材などの多数の工事で採用されている (Photo.9)。



Photo.9 エアモルタル施工状況

(2) その他^{31), 32), 33), 34), 35)}

この他、石炭灰の活用にあたっては、路盤材やコンクリート二次製品への活用を進めており、既に多数の工事に供給を行ってきた。また、微粉炭灰以外についても、クリンカアッシュの材としての活用など、多数の開発を進め、実用化を図ってきた。

4. 技術の市場定着に向けて

4.1 石炭灰の取扱い

技術開発と平行して、開発の基本となる「顧客のコスト削減にもつながる技術」を実現化するために、以下に示すとおり各自治体の了解を得て、商品として石炭灰を販売している。

公共工事からの購入要請

排出者である電力本体が、多数の国や県等の自治体と共同で積極的なリサイクル推進の取り組みを行っており、

既に適正な価格で購入したい旨の要望が自治体から発生している。

排出者である中国電力本体の姿勢

排出者である電力本体が責任を持って販売先までの供給を行う意志を持っている他、社会的責任に耐え得る会社の姿勢 (供給先の品質と安全性を保証する体制) である。

経過措置としての輸送の取り扱い

当社の石炭灰が商品としての社会的認知がなされるまでの間においては、販売先までの輸送を廃棄物収集運搬により行い、マニフェストに準じた管理をする。

このような取り組みにより、当社の灰処理費の低減および石炭灰の排出者自身の多用途へのリサイクル推進展開と公共工事のコスト削減による地域貢献を両立する技術の実用化が可能となった。

4.2 供給体制と保証体制

実用化を行ないながら技術開発を進める必要から、中国5県の供給体制の整備を進めてきた。Hi ビーズについては、新小野田発電所構内に年間 15 万 m³ の製造プラントを構築し、現在公共工事に出荷している。また、石炭灰原粉については Fig.24 に示すように海上輸送を主体とした供給体制に加え、移動式中継サイロや石炭灰輸送船の就航など中国地方を中心として安定供給できる体制が整っている。

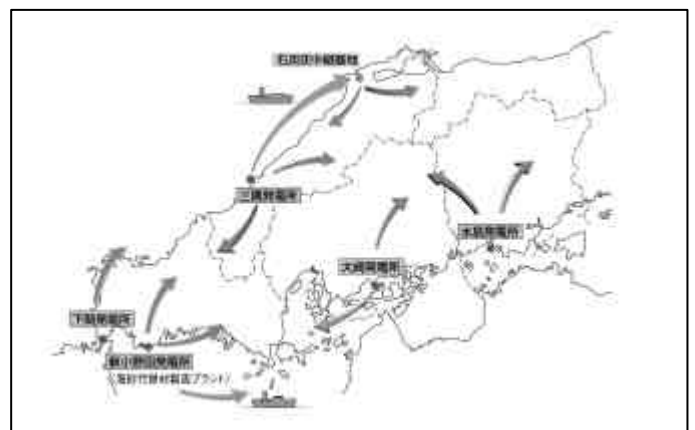


Fig.24 供給概念図

また、石炭灰の活用にあたって、その品質確保のために当社職員が技術指導を行うなどの体制で望んでいる他、安全性についても出荷時の管理と現場での確認など当社の責任の基に行ってきた。これらの結果、中国地方では、多数の事業者の方々との厚い信頼関係が構築されている。

4.3 取り組みの成果と今後の展望

このような開発技術の実用化により Fig.25 に示すように H13 年度は約 20 万 t の石炭灰を新規技術で活用するに至っており、有効利用率も 82%に増加するに至った。

今回ご紹介した技術は、安定販売の基礎となるものであり、今後は、環境負荷低減に貢献できる多数の技術開発を進めており、廃棄物から環境改善を図る新たな時代となると考えられる。

石炭灰は、有用な材料であり、今後も新たな技術開発が進むことを期待している。

文末となりますが、今回の技術開発に当たっては、多数の官庁および工事会社の方々から厚いご支援とご協力をいただきました。心からお礼と感謝の意を申し上げます。

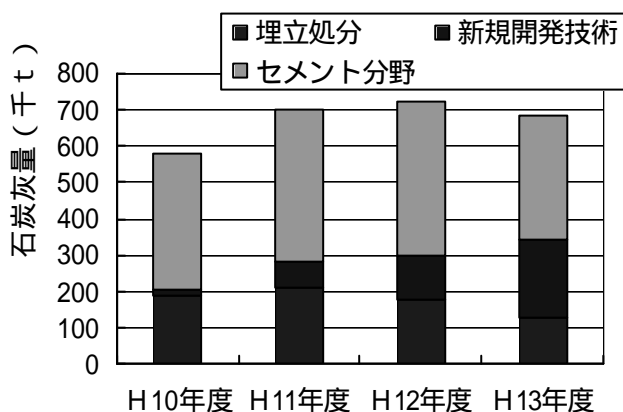


Fig.25 石炭灰有効利用量の推移

【参考文献】

- 1) 國友宏俊：石炭灰に係る問題の所在と今後の検討の在り方について，石炭灰有効利用シンポジウム，1998.5.
- 2) 江原範明：石炭灰の発生及び有効利用技術の開発状況について，石炭灰有効利用シンポジウム，1998.5.
- 3) 新谷 登，斉藤 直，樋野和俊：実用化に向けた石炭灰有効利用に関する研究，電力土木 No.280，pp.60-64，(社)電力土木技術協会 1999.3
- 4) 斉藤 直，樋野和俊，新谷 登：石炭灰を使った海砂代替材の開発と取組み状況，電力土木 No.287，pp.67-71，(社)電力土木技術協会 2000.5
- 5) 車田佳範，浜田純夫，斉藤 直，樋野和俊，新谷 登：石炭灰を活用した海砂代替材の品質特性 ～長期安定性について～，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 6) 樋野和俊，斉藤 直，樋野和俊，兵動正幸，中田幸男，村田基治：石炭灰造粒物の S C P 打設試験における改良

特性(その1.改良効果)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門 2000.9

- 7) 村田基治，斉藤 直，樋野和俊，新谷 登，内田裕二：石炭灰造粒物の S C P 打設試験における改良特性(その2.施工性)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 8) 樋野和俊，斉藤 直，兵動正幸，中田幸男，村田基治：石炭灰造粒物の海上 S C P 打設試験における改良特性(その1.改良効果)，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 9) 村田基治，斉藤 直，樋野和俊，新谷 登，内田裕二：石炭灰造粒物の海上 S C P 打設試験における改良特性(その2.施工性)，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 10) 内田裕二，樋野和俊，斉藤 直，車田佳範：石炭灰造粒物の海上 S C P 打設試験における改良特性(その3.環境評価)，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 11) 斉藤 直，樋野和俊，浜田純夫，松尾栄治，田中敦之：石炭灰を使った地盤改良材の改良特性，第 34 回地盤工学研究発表会，pp.931-932，(社)地盤工学会，1999.7
- 12) 樋野和俊，斉藤 直，新谷 登：石炭灰を使った土壌改良材の改良特性，電力土木 No.293，pp.89-93，(社)電力土木技術協会，2001.5
- 13) 安野孝生，斉藤 直，岡部 学：石炭灰原粉による礫混りシルト・細砂の改良特性(小郡駅前区画整備工事での試験施工結果)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 14) 石黒昌信，仲田達哉，斉藤 直，新谷 登，林 良樹：石炭灰原粉単独による軟弱土の改良特性(隠岐空港造成工事)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 15) 桑原昭浩，丸川真一，門田克司，島 勝俊，樋野和俊，斉藤 直：軟弱盛土材への石炭灰の有効利用(石炭灰原粉の軟弱盛土地盤改良材としての適用例)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 16) 斉藤 直，飯國卓夫，西村修一，三好健夫，樋野和俊：石炭灰原粉による高含水軟弱粘土の改良特性(安来道路での試験施工結果)，土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 17) 車田佳範，苑田貴文，斉藤 直：石炭灰を活用した高含水比粘性土の管中混合固化処理工事，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 18) 斉藤 直，樋野和俊，中下明文，田村博邦，津國正一，安藤慎一郎，斎藤 聡，黒島一郎：F C 深層混合処理工

- 法による石炭中継基地の地盤改良（その1 室内配合試験），土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 19) 中下明文，斉藤 直，樋野和俊，津國正一，田村博邦，大西常康，斎藤 聡，黒島一郎：F C 深層混合処理工法による石炭中継基地の地盤改良（その2 現場施工），土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 20) 斉藤 直，浜田純夫，松尾栄治，福留和人：金属スラグを骨材とした石炭灰コンクリートの品質と配合設計手法，土木学会論文集，2001..12
- 21) Tadashi SAITOH, Sumio HAMADA, Eiji MATSUO, Kazuto FUKUDOME : PLACING TESTS OF LARGE SCALE WAVE DISSIPATING BLOCK USING HARDENED COAL ASH CONTAINING METAL SLAGS, 2001 Second International Conference on Engineering Materials, JSCE/ACI, 2001.8
- 22) 福留和人・斉藤 直・浜田純夫・松尾栄治・新谷 登：NA（ネオアッシュ）クリートに用いるスラグの品質について ～各種スラグを用いた石炭灰硬化体～，土木学会第56回年次学術講演会，pp.404-405(V-202),2001.10
- 23) 斉藤栄一・斉藤 直・半沢 稔・浜田純夫・松尾栄治：ネオ・アッシュクリート(NAクリート)を用いた消波ブロックの製造試験，土木学会第56回年次学術講演会，pp.424-425(-212),2001.10
- 24) 斉藤 直，樋野和俊，浜田純夫：石炭灰を多量に使った新素材コンクリートの開発，電力土木No.285 pp.75-79，(社)電力土木技術協会 2000.1
- 25) 松田淳夫，小西正郎，廣中哲也，斉藤 直，樋野和俊：石炭灰原粉を用いた吹付コンクリートの配合選定，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 26) 飯島俊荘，松田淳夫，蛭子清二，澄川 健，斉藤 直，樋野和俊：石炭灰原粉を用いた吹付コンクリートのモデル試験施工，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 27) 松田淳夫，飯島俊荘，小西正郎，斉藤 直，安野孝生，池田陵志：石炭灰原粉を用いた乾式吹付コンクリートの配合選定，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 28) 安野孝生，斉藤 直，池田陵志，松田淳夫，蛭子清二，浜田 元，飯島俊荘，須田博幸，齋藤隆弘：石炭灰原粉を用いた乾式吹付コンクリートの試験施工，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10
- 29) 内田裕二，樋野和俊，斉藤 直：石炭灰を使ったエアモルタルの特性，電力土木No.291，pp.65-69，(社)電力土木技術協会 2001.1
- 30) 内田裕二，斉藤 直，中村俊三，藤原俊貞，樋野和俊：石炭灰を使用したエアモルタル充填材の特性について，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第 部門，2000.9
- 31) 福留和人・斉藤 直・新谷 登・江良弘樹・喜多達夫：JIS規格を満足しない石炭灰原粉のコンクリート2次製品への適用に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，pp.V-128,2000.9
- 32) 佐々木肇・新谷 登・斉藤 直・喜多達夫：クリンカーアッシュのコンクリート二次製品用骨材としての適用性検討，コンクリート工学年次論文集，第22巻2号，2000 pp.133-138，1999.7
- 33) 扇 正典，浜田純夫，松尾栄治，斉藤 直：フライアッシュを細骨材代替として用いた転圧コンクリートの強度性状，コンクリート工学年次論文報告集 第23巻1号，pp.295-300，2001.6
- 34) 佐々木肇・福留和人・喜多達夫・新谷 登・斉藤 直：加圧流動床石炭灰の水和反応特性に関する研究，フライアッシュコンクリートシンポジウム論文報告集，コンクリート技術シリーズ27，pp.31-36，1997.12
- 35) 戸村豪治，黒島一郎，新谷 登，斉藤 直，樋野和俊：加圧流動床石炭灰（P F B C 灰）を用いた道路路盤の現場施工，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集第 部門，2001.10

石炭に関する最近の研究開発

新日本製鐵(株) 環境・ロセス研究開発センター
加藤健次、矢部英明、小野田正巳

1. 概要

新日本製鐵(株)における石炭研究開発は、コークスの品質向上や製造プロセス改善に関する研究開発と石炭を貴重な化石資源として有効活用するための研究開発に大別される。コークス関連の技術課題は、国家プロジェクトである次世代コークス技術(SCOPE-21)への参画、コークス乾留機構およびコークス乾留時の石炭膨張圧発生機構の解析、コークス炉を使用した廃プラスチック使用技術の開発等がある。また、後者については、気流床式ガス化・熱分解技術をコア技術とする高効率石炭転換技術の開発がある。近年、エネルギー・環境分野の研究開発強化の流れの中で、石炭エネルギーの有効活用や環境との調和を考慮した研究開発の比率が増加してきている。その代表的な例として「コークス炉を利用した廃プラスチック処理技術」および「石炭部分水素化熱分解技術」を以下に紹介する。

2. コークス炉を利用した廃プラスチック処理技術

2.1 はじめに

わが国の鉄鋼業の地球環境対策では、日本鉄鋼連盟が省エネルギー自主行動計画として、2010年までに1990年比で10%の省エネルギー計画を打ち出し、さらに追加策として、廃プラスチックの製鉄原料化によって1.5%の省エネルギー目標を掲げた。この省エネルギー量に相当する廃プラスチックの処理量は年間約100万t規模に達する。当社は、鉄鋼業における廃プラスチック処理技術として、コークス炉を利用した廃プラスチック処理技術(コークス炉化学原料化法)を開発した¹⁾²⁾。

コークス炉化学原料化法によるコークス炉での廃プラスチック処理技術について以下に述べる。

2.2 コークス炉による廃プラスチック化学原料化プロセス

コークス炉化学原料化法による廃プラスチックの処理フローを図1に示す。容器包装廃プラスチックを破砕、異物除去した後に、粒状化した廃プラスチックをコークス炉に装入して最高1,200の高温、無酸素状態で乾留

することによって、コークス、タール・軽油等の油化物、コークス炉ガス(水素リッチなガス)に熱分解する。コークスは鉄鉱石還元剤として高炉で使用され、油化物は

プラスチック等の化学原料として、コークス炉ガス(水素リッチガス)は、クリーンエネルギーとして、発電所等で利用される。

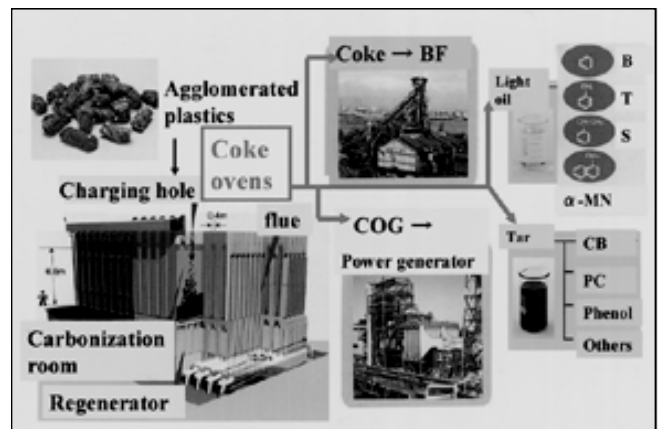


図1 コークス炉化学原料化プロセスの概要

2.3 乾留基礎実験

2.3.1 乾留生成物歩留の評価

一般廃棄物系容器包装プラスチックを対象にして、実炉試験を行い、乾留歩留を調べた結果、一般廃プラスチックをコークス炉で乾留した場合の乾留歩留は、コークス約20%、タール・軽油約40%、ガス約40%であることがわかった(図2)。

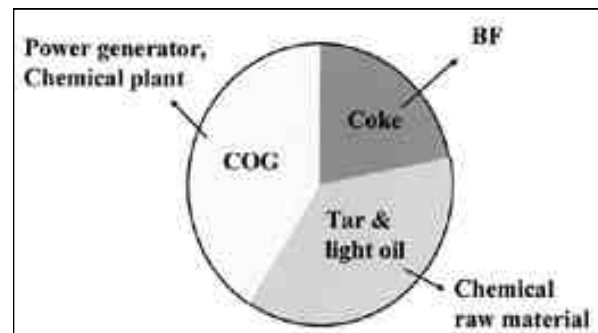


図2 廃プラスチックの各製品への転換率

2.3.2 廃プラスチック添加のコークス品質に対する影響の評価

石炭に減容化処理した一般廃プラスチックを 1 mass% 添加した場合のコークス強度について、実炉試験を行って評価した。コークス強度の指標としては、常温でのコークス強度を示すドラム強度 (DI_{150}^{150}) とコークスの熱間反応後強度 (CSR) を調べた。その結果、石炭に対して一般廃プラスチックを 1 mass% 添加して乾留した場合のコークス強度は、廃プラスチックを添加しない場合と同等の値であることがわかった(図3)。

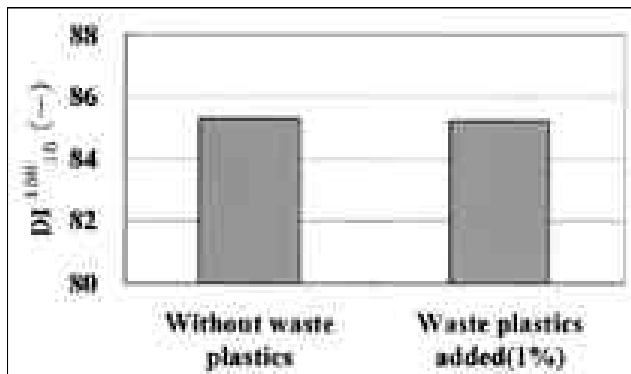


図3 廃プラ添加のコークス強度への影響

わが国の鉄鋼業でコークス製造用に使用される石炭の使用量は年間で約 5,000 万 t である。コークス製造用の原料である石炭に対して 1 mass% の廃プラスチックの添加が可能となれば、コークス炉で年間約 50 万 t 規模の廃プラスチックを処理することが可能となる。これは、日本鉄鋼連盟が廃プラスチック有効利用による省エネルギー目標で掲げた処理量の約 50% の規模に相当する。

石炭に廃プラスチックを添加する場合には、廃プラスチックの組成によっては石炭の粘結性低下への影響があるため⁵⁾、配合比率の制約があると考えられ、今後の検討課題である。

2.4 おわりに

「コークス炉化学原料化法」は容器包装リサイクル法におけるケミカルリサイクルとしての、再資源化技術の認定を受けており、社会の要請に沿った取り組みを 2000 年より開始した。この方法の実施より、一般廃プラスチックをコークス、タール・軽油、ガスに転換し、化学原料として有効利用することが可能である。

現在、名古屋、君津、八幡、室蘭の各製鉄所で廃プラスチック事前処理設備とコークス炉操業とも、順調

に操業を継続中である⁴⁾⁵⁾。今後は、社会的システムの一部として安定的に操業するための長期運転課題の抽出と解決に向けて、さらに検討を進めて行く。

3. 石炭部分水素化熱分解技術の開発

3.1 はじめに

石炭部分水素化熱分解技術 (Coal Flash Partial Hydrolysis Technology) は高圧 (2~3MPa) かつ適度な水素雰囲気下で微粉炭を瞬時に反応させ、化学原料および燃料としての軽質オイルを併産しつつ、石炭ガス化複合発電 (IGCC) 間接液化 (GTL) や化学原料等への展開が容易な合成ガスをつくる一つの炉 (石炭部分水素化熱分解炉) から高効率に得る技術である。

従来、石炭の水素化熱分解は石炭を SNG へ転換するための石炭水添ガス化プロセスとして検討されてきた。それに対し本技術は、石炭をシビアな条件下において完全に水素化熱分解して全てを CH_4 にするのではなく、マイルドな水素化熱分解すなわち部分水素化熱分解によって重質なタールを軽質オイルへと改質することを主眼としている。

本技術の評価をするために、平成 8 年から平成 11 年にかけて、NEDO/CCUJ の「石炭利用次世代技術開発調査 / 石炭熱分解技術分野」の枠内で、石炭の急速加熱・熱分解反応で放出される一次タールが水素化される反応条件を探索するための熱分解基礎試験を実施した。以下にその概略を示す。

3.2 全体プロセスイメージ

図4に本技術の全体プロセスフローを示す。石炭部分水素化熱分解炉の部分酸化部において、微粉炭およびリサイクルチャーを酸素、スチームによって圧力 2~3MPa、温度 1500~1600 でガス化し、 CO および H_2 を主成分とする高温ガスを発生させる。部分酸化部とスロートで直結した改質部には、微粉炭をリサイクル H_2 と共に部分酸化部からの高温ガス流に吹き込み、圧力 2~3MPa、温度 700~900、水素濃度 50% 程度 (高温ガス中 H_2 とリサイクル H_2 を併せた値) の条件下で改質反応 (部分水素化熱分解反応) を瞬時に完了させる。また、部分酸化部からの高温ガスは改質部における所要反応熱の供給源としても機能する。改質部では微粉炭から放出されたタール等の一次熱分解生成物に H を移行させる水素化反応が in-site で進行し、重質なタール状物質が軽質オイル化される。部分水素化熱分解炉において生成したガス、軽質オイル、チャーはサイ

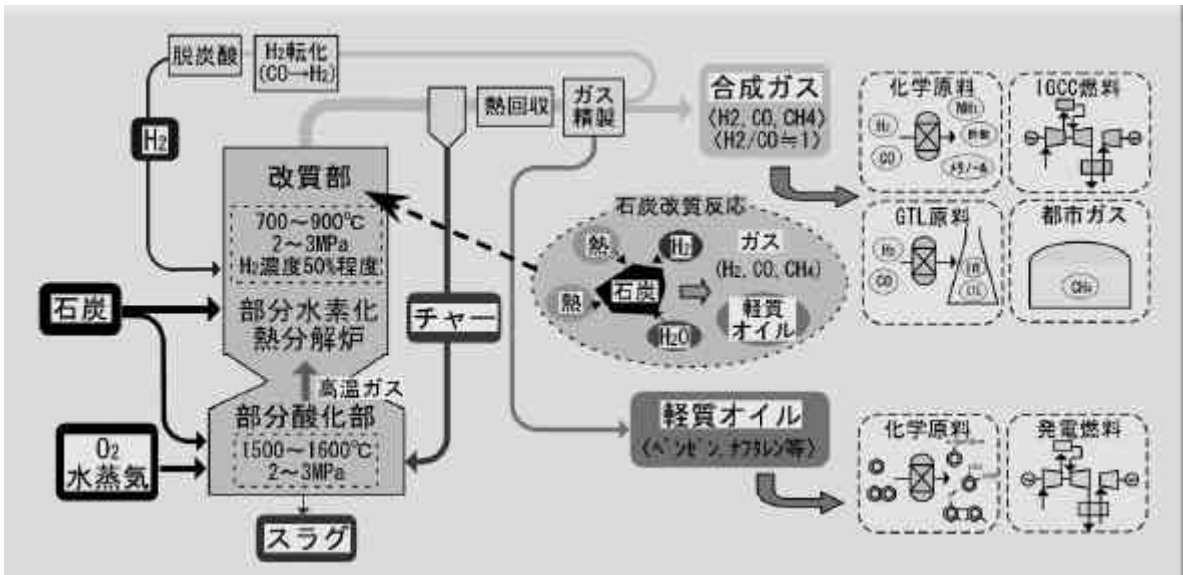


図4 全体プロセスイメージ

クローンにおいてチャーを分離後、顕熱回収し、オイル回収および脱硫等のガス精製を経て、合成ガス (syngas) となる。合成ガスの一部はシフト反応、脱炭酸 (CO₂ 回収) によってH₂ リッチガスへ転換され、熱交換による予熱後、部分水素化熱分解炉の改質部へリサイクルされる。最終的な製品合成ガスは、H₂、CO、CH₄ を主成分とするH₂/CO 1程度の高水素含有ガスとなり、IGCC、GTL、化学原料等への原料ガスとして利用される。また、軽質オイルはベンゼン、ナフタレン等の1~2環の芳香族化合物を主成分とし、化学原料あるいは発電燃料として利用される。

続的に切り出された微粉炭を予熱された反応ガスと共に反応管へ導入し、所定の反応条件下において熱分解を実施した。生成した反応生成物 (ガス、オイル、チャー) はそれぞれ分離回収し、成分分析を実施した。図6に熱分解温度が反応生成物の収率へ与える影響について示す (タニトハルム炭、圧力3.0MPa、水素濃度100%)。温度の上昇に伴い、BTX収率およびガス収率 (特にCH₄ およびC₂H₆ 収率) が急激に増加する一方で、オイル (BTX以外の液成分) 収率は減少しており、液成分の水素化による軽質化が進行しているものと考えられる。

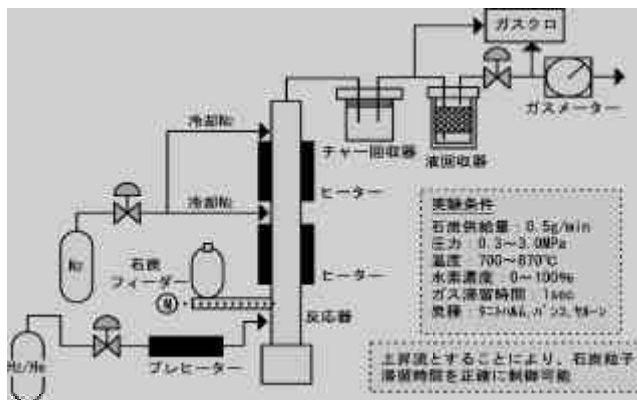


図5 小型試験装置

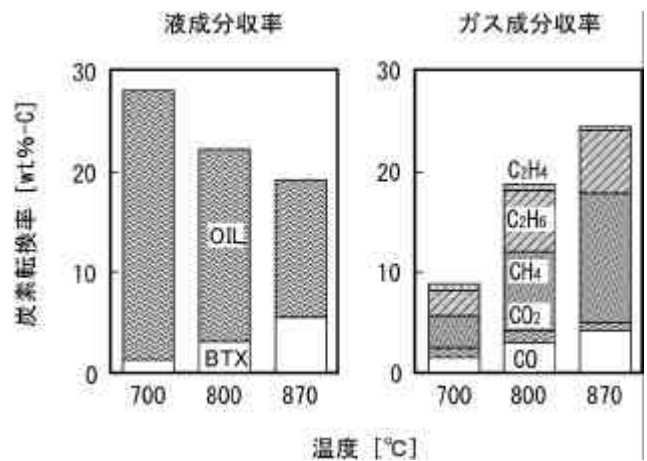


図6 温度の影響

3.3 熱分解基礎試験

改質部における部分水素化熱分解反応特性を検討するため、図5に示す小型試験装置を用いた基礎試験を実施した。試験装置は上昇流の気流床型であり、フィーダーから連

図7に水素濃度が反応生成物の収率へ与える影響について示す (タニトハルム炭、温度870、圧力3.0MPa)。液収率は、全体 (BTX + オイル) では水素濃度の上昇に伴

って減少したが、内訳に関しては、BTXが増加する一方で、オイル収率は減少した。ガス収率は、全体では増加したが、内訳に関しては、CH₄、C₂H₆は増加し、CO、CO₂、C₂H₄は減少した。収率が増加した成分（BTX、CH₄、C₂H₆）に関し、特にCH₄の水素濃度の上昇に伴う収率増加が顕著であったが、いずれの成分も、水素濃度が0-50%に変化する際の収率増加の割合よりも、50-100%の際の収率増加割合の方が小さく、水素濃度50%以上の条件下では水素濃度の影響を比較的受けにくいものと考えられる。

以上の試験結果より、本技術で狙いとする緩やかな反応条件下においても水素化熱分解反応は十分に進行し、特に液成分の軽質化に寄与することが判明した。

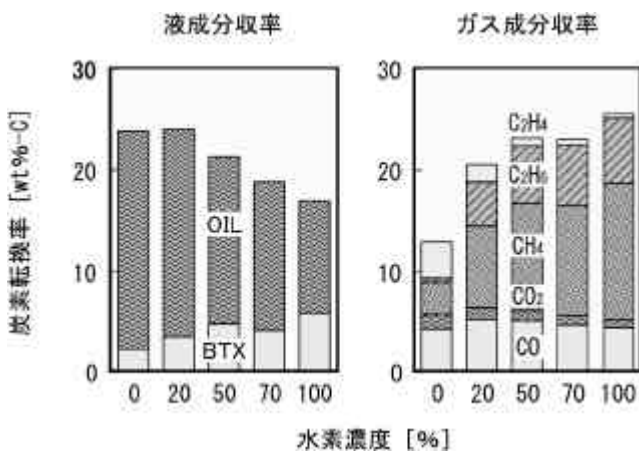


図7 水素濃度の影響

これらの結果を基に、本技術の実機規模におけるプロセス収支の試算を実施した。その結果、部分水素化熱分解炉において、部分酸化部からの高温ガスの顕熱を、直接、改質部における部分水素化反応に利用できることから、冷ガス効率（軽質オイルを含む）は85%以上という従来の石炭転換技術を凌駕する高い水準となる見通しとなった。また、熱効率が高いことおよびH₂製造工程でのCO₂回収により、本技術を発電へ適用した場合のCO₂削減効果は約40%に達するという試算結果となった（対微粉炭火力比）。更に、発電コストに関しても、付加価値の高い軽質オイル売却に伴う控除による低減が期待できる。

3.4 おわりに

本技術は石炭の反応特性を生かした付加価値の高いガス・液併産を高効率かつ経済的に可能とするものである。将来的には、本技術をコアとする石炭をベースとした業界融合型複合事業（電力/化学/鉄鋼を中心）を実現することにより、トータルエネルギー利用効率の飛躍的な向上も期待できる。

現在、本技術はプロセス開発試験装置（PDU）による試験段階へと推移しており、部分水素化熱分解炉の反応特性把握および要素技術の開発を実施している。今後、更に、炉内反応確性ならびにトータルシステム評価のための反応実証試験へとステップアップし、早期実用化を目指す予定である。

[参考文献]

- 1) 加藤, 古牧, 野村, 植松, 近藤, 白石: 第10回環境工学総合シンポジウム2000講演論文集, 2000, p. 154
- 2) 加藤, 古牧, 植松: 金属, 71, 2001, p. 331
- 3) 野村, 加藤, 古牧: 第37回石炭科学会議発表論文集, 2000, p. 109
- 4) KATO et. al.; ISIJ International Supplement, 42, 2002, p. S10
- 5) 加藤, 野村, 植松: 日本エネルギー学会誌, 81, 2002, p. 174
- 6) 下田, 河村, 矢部 「石炭部分水素化熱分解技術の開発」第10回石炭利用技術会議講演集, 2000, PP296.

CCUJ だより

第12回石炭利用技術会議を開催！

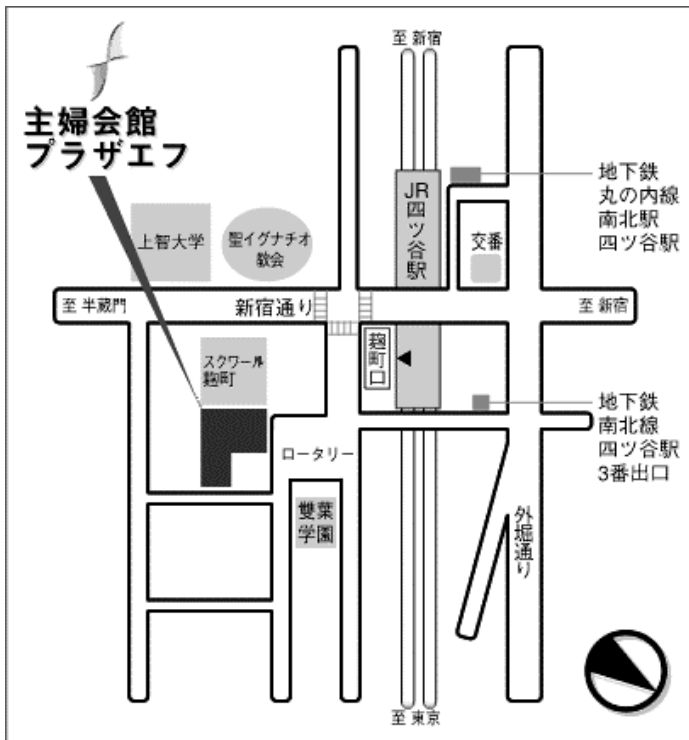
石炭利用技術会議は、経済産業省の石炭生産・利用技術振興費補助事業に関わる研究課題を中心に、一般からの公募も加えた最先端のクリーン・コール・テクノロジーについての研究成果を発表するものです。

本年も、下記により、第12回石炭利用技術会議を開催致します。関係者のご協力により、素晴らしい技術会議となり、石炭利用分野の技術力向上に役立つことを願っています。

1. 日 時：平成14年11月21日（木）10:00～16:45
意見交換会：17:15～19:15
11月22日（金）9:30～15:10
2. 会 場：主婦会館プラザエフ
東京都千代田区六番町15番地
TEL 03-3265-8111

[意見交換会会場]
主婦会館プラザエフ 8F 「スイセン」

『会場案内』



J R 中央線「四谷駅」
地下鉄丸の内線「四谷駅」
地下鉄南北線「四谷駅」 3番出口

[プログラム]

第1日目

11月21日（木）10:00～16:45

開会挨拶 10:00～10:15

（財）石炭利用総合センター

理事長 齊藤 真人

来賓挨拶 10:15～10:30

資源エネルギー庁 資源・燃料部

石炭課長 塚本 修

基調講演 10:30～11:00

21世紀に望まれる産業・社会システムと石炭利用技術

東北大学 多元物質科学研究所

教授 阿尻 雅文

11:00～11:30

わが国の21世紀石炭技術開発戦略

（財）石炭利用総合センター 原田 道昭

【昼食】 11:30～12:30

セッション1 石炭燃焼技術

12:30～13:00

1-1 高度石炭利用新製鉄法へのアプローチ

九州大学 工学研究院 教授 清水 正賢

13:00～13:30

1-2 石炭高度転換コークス製造技術に関する研究

（SCOPE-21）

（社）日本鉄鋼連盟 藤川 秀樹

13:30～14:00

1-3 燃料電池用石炭ガス製造技術開発

（EAGLE）

電源開発

（株）沢田 昇

14:00～14:30

1-4 IGCC

（株）クリーンパワー研究所

石橋 喜孝

14:30～15:00

1-5 高度加圧流動床燃焼技術（A-PFBC）

電源開発（株）

有森 映二

15:00～15:30
1 - 6 亜酸化窒素の炉内除去技術
出光興産(株) 藤原 尚樹

15:30～15:45
【休憩】

セッション2 多目的石炭利用技術
15:45～16:15
2 - 1 石炭利用CO₂回収型水素製造技術
(HyPr-RING)の開発
(財)石炭利用総合センター 林 石英

16:15～16:45
2 - 2 環境負荷低減燃料転換技術(DME)
日本鋼管(株) 大野 陽太郎

17:15～19:15
意見交換会 主婦会館 8F「スイセン」

第2日目
11月22日(金) 9:30～15:10

セッション3 石炭灰有効利用技術
9:30～10:00
3 - 1 合成ゼオライト
早稲田大学理工学部 教授 松方 正彦

10:00～10:30
3 - 2 高強度人工骨材の製造
及びコンクリート利用技術
太平洋セメント(株) 加藤 将裕

10:30～11:00
3 - 3 北海道電力における石炭灰有効利用の現状
北海道電力(株) 水口 洋

セッション4 次世代技術および基盤技術
11:00～11:30
4 - 1 超臨界水による石炭熱分解処理
三菱マテリアル(株) 宮下 庸介

11:30～2:00
4 - 2 低エミッション石炭エネルギー利用システム
(Hyper Coal)
(財)石炭利用総合センター 篠崎 貞行

12:00～13:00
【昼食】

13:00～13:30
4 - 3 石炭灰溶融特性予測手法の開発
(財)電力中央研究所 沖 裕壮

13:30～14:00
4 - 4 石炭ガス化における
灰の生成・付着・焼結挙動モデルの開発
出光興産(株) 山下 亨

セッション5 石炭利用分野における国際協力
14:00～14:20
5 - 1 CCUJにおける国際協力事業の概要
(財)石炭利用総合センター 中村 正志

14:20～14:50
5 - 2 モデル事業による石炭利用技術移転の成果
(財)石炭利用総合センター 小山 和英

14:50～15:10
5 - 3 石炭利用技術移転のための研修事業
(財)石炭利用総合センター 山本 典保

閉会挨拶
(財)石炭利用総合センター 専務理事
今北 正夫

バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発

平成14年6月に経済産業省産業技術環境局から公募されました、平成14年度「地球環境国際研究推進事業」の「温室効果ガスの削減に資する革新的な再生可能エネルギー技術等の研究開発」分野に、当センターは、研究テーマ名称「バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発」で応募し採択されましたので、ここにその概要を紹介致します。本プロジェクトは、独立行政法人 産業技術総合研究所(以下産総研)、広島大学、中部電力及び海外の研究機関と協同で研究開発を行うもので、平成17年3月末までの期間を計画しています。

1.はじめに
京都議定書の温室効果ガスの削減目標年次が差し迫る中、目標を達成するための早急な対応が求めら

れており、関係各国が協力して、問題の解決に取り組むことが極めて重要であります。その温暖化問題の解決に向け、諸外国と共同で、革新的な温暖化防止対策技術の研究開発を進めるものとして産総研、中国電力および広島大学等とで提案を行いました。

本プロジェクトの基本的な原理は、既に当センターが産総研、大学、企業と共に研究を行っている、「石炭から水素を製造する「石炭利用 CO₂ 回収型水素製造技術」(HyPr-RING: Hydrogen Production by Reaction Integrated Gasification process)と同様で、それを炭化水素から成るバイオマスに適用するものです。「バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発」を実施することにより、HyPr-RING をより広範囲な分野へ広げることが可能になると考えています。

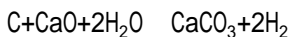
2. 原理

2.1 基本プロセス HyPr-RING

プロセスの基本原則として採用している HyPr-RING プロセスを簡単に紹介いたします。これは、石炭をクリーンでかつ効率的に使うために、石炭を高濃度の水素に転換するプロセスで、石炭を高温高压水中で水蒸気と反応させて水素と CO₂ に変換すると同時に、その CO₂ を CaO 等の吸収剤で固定化して高濃度の水素を得るものです。

特徴は CO₂ 吸収剤 (CaO) が有している化学エネルギーを反応に直接与え、同時に CO₂ の吸収により、シフト反応の平衡をずらすことで水素生成反応を促進することであり、CO₂ 吸収剤の再生時 (CaCO₃ の熱分解) に加えられたエネルギーは、吸収反応系に戻す時に放出して利用出来るようにプロセスを組んでいます。

このようにして、単一の反応器で大量の水素を効率よく生産すると共に、再生時の放出 CO₂ を容易に分離回収することが出来ます。総括反応としては、次式であり、21kcal の発熱反応となります。



反応条件については、プロジェクト開始当初は、水の超臨界 (374 °C、221 気圧) に近い圧力が必要と考えていました。しかし現在では、600-700 °C、30-60 気圧という現実的な条件で反応が進む事が分かり、具体的な装置の検討へと進んでおります。

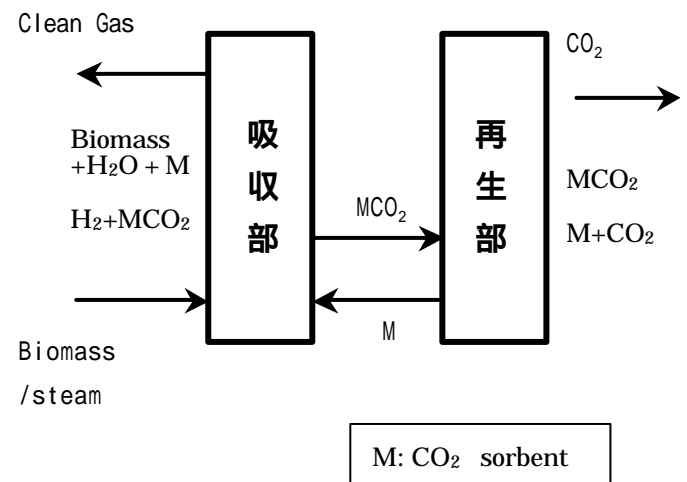
2.2 バイオマスへの応用

再生可能資源であるバイオマスからクリーンな燃料として将来期待される水素を生産する技術については、従来法ではガス化、ガスクリーニング、シフ

ト反応、CO₂ 除去などの多段プロセスになり、効率が悪い等の課題があります。そこで、本研究では、HyPr-RING の成果を踏まえつつ、米 NREL (再生可能エネルギー研究所) ハワイ大学及びスペイン・サラゴサ大学等と共同で、CO₂ 吸収物質をガス化の際に使用して、直接一段でしかも従来法よりも低温で、水素を主成分とするクリーンガスを生産するプロセスの開発を目指しています。

プロセスは、前項に述べた HyPr-RING プロセスをバイオマスに適用したものが基本となります。バイオマス燃料としては季節変動が少ない木質系を中心に検討を行いますが、製材所残材発生規模や運搬集積などを考慮すると、実用機の設備としては、小規模分散の形態をとることが適切と思われます。また、一日のうちに起動と停止を行う DSS (Daily Start-up & Shut-down) をも考慮することが必要となります。

プロセスを模式的に下図に示します。石炭よりも反応性が高いことから、600-700 °C、30-60 気圧よりは、緩い条件での運転が可能になると予想しています。なお、再生部は、ほぼ大気圧下で操作を行います。



3. HyPr-RING との比較

基本原理は、石炭から水素を製造する HyPr-RING と同じですが、原料が異なるために設備、用途などに各種の制限がでてきます。次表に両者の主な特徴の比較を挙げます。

バイオマスは、灰分が少なく、反応性が高いことから、設備的には、石炭を原料とする場合よりもハードルは低いと考えています。ただ、設備規模が小さくなることから、経済性を出すためには、かなりの工夫が必要になると考えられます。バイオマスは、灰分が少なく、反応性が高いことから、設備的には、

石炭を原料とする場合よりもハードルは低いと考えています。ただ、設備規模が小さくなることから、経済性を出すためには、かなりの工夫が必要になると思われます。

主原料	バイオマス	石炭(HyPr-RING)
実用規模	10ton/日程度	1,000ton/日程度
固体ハンドリング	開発必要	実績有り
反応性	タールとの反応 反応性高い	固体炭素との反応 反応性低い
原料中の灰分・不純物	低灰分、アルカリ	高灰分、シリカ、 金属
CO ₂ 吸収剤	新規物質の利用 可能	多量に使用するた め安価な天然物
反応部形式	流動層	流動層/移動層

4. 開発要素と目標値

開発要素としては、

- ・バイオマスの加圧下でのハンドリング
- ・バイオマスのCO₂吸収ガス化での反応性
- ・バイオマスの灰分挙動
- ・100%スチームでの加圧流動制御

などがあり、バイオマスの特性を十分に把握する必要があります。さらに、本プロセスに適した強度、流動特性、繰り返し反応性などを有するCO₂吸収物質を見いだせるかどうか重要なポイントとなります。

最終の目標は、

- 1) CO₂吸収ガス化ベンチスケールプラントを開発、運転して、技術的目処を得ること。
容量：バイオマス処理能力10~20kg/日規模
形式：加圧流動層
- 2) クリーンガス収率：水素およびメタンのクリーンガスを理論収率の90%以上あげること。
- 3) 連続運転時間：DSS 対応以上の連続運転を行うこと。
さらには、CO₂吸収物質の繰り返し利用性能を明らかにすることを計画しています。

また、想定される実用機のプロセス設計(バイオマス処理能力10ton/日規模程度)を行うと共に経済性評価や利用を考慮した社会システムについての検討も実施する予定です。

5. まとめ

再生可能な原料であるバイオマスから効率よく水素を製造し、なおかつCO₂を回収することもできる「バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発」プロジェクトが採択され、本年度から3年間の予定

で研究を開始します。

理想的に反応が進めば、1tonのバイオマスから水素約80kmoleを生成でき、これは、熱量として6,000kwh相当であります。この時に排出されるCO₂は、元々植物が生長する際にとり込んだCO₂なので、大気中に放出してもCO₂濃度は一定であり(カーボン・ニュートラル)、間接的に太陽エネルギーを燃料として使っていることとなります。この設備から排出される濃縮されたCO₂を固定すれば、温室ガス削減にさらに貢献することとなります。

首尾よく、経済的に成立つ実機の見通しを得るのはなかなか困難でしょうが、石炭だけでなく、関連分野まで温室ガス削減に向けた技術開発の範囲を広げて進めていきたいと思っておりますので、ご支援をよろしくお願い致します。

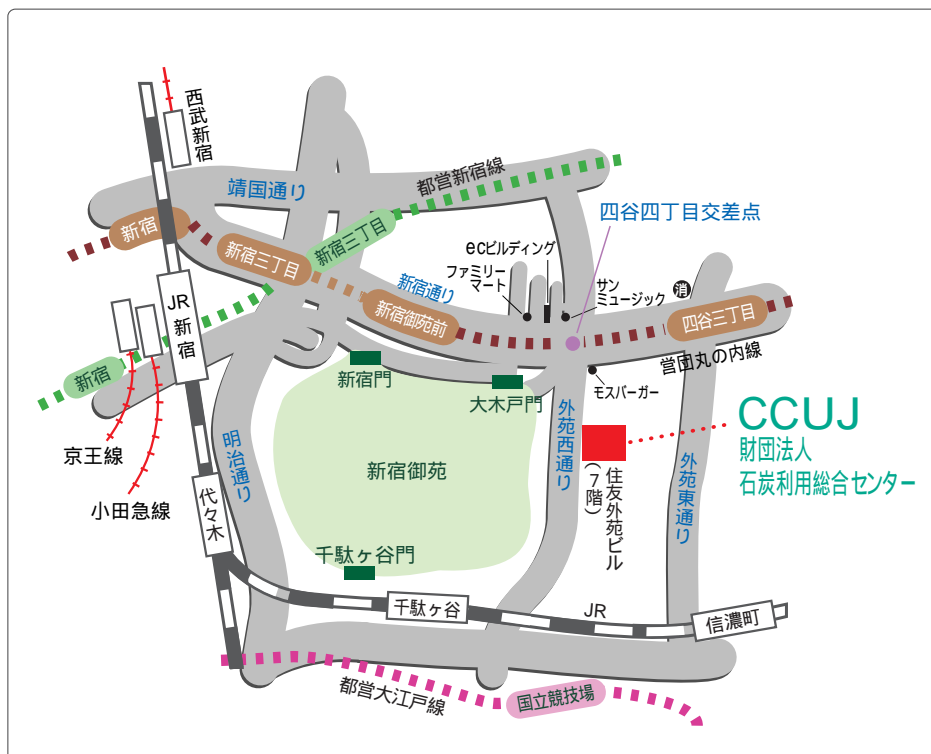
編集後記

今月号の表紙は、北海道電力(株)苫東厚真石炭火力発電所の全景です。平成10年3月に8.5万kWのP F B C (17.06MPa, 569 /539 , 195t/h, 発電端効率40.1%)が、そして今年(平成14年)の6月には、最新鋭の70万kW超々臨界圧微粉炭火力発電設備(25.74MPa, 603 /602 , 2,040t/h, 発電端効率44.2%)が稼動しています。今年、日本で初めて、同じ年に2人のノーベル賞受賞者(物理学賞と化学賞)が出現しました。CCUJは今年の春、新宿御苑のそばにある新事務所に移転致しましたが、近くには、かつてノーベル賞候補でもあった野口英世博士の記念会館があって、その偉業を偲ぶことができます。日本にはレベルの高い科学技術が存在しているのですから、石炭利用技術分野においても、すばらしい技術革新がもたらされるに違いありません。

新事務所地図

最寄駅

- ・地下鉄丸の内線「四谷三丁目」駅(徒歩7分)
- ・地下鉄丸の内線「新宿御苑前」駅(徒歩8分)
- ・JR総武線「千駄ヶ谷」駅(徒歩8分)
- ・都営地下鉄大江戸線「国立競技場前」(徒歩8分)



Center for Coal Utilization Japan

<http://www.ccu.or.jp/>

CCT Journal Vol.4 (平成14年11月1日発行)
発行所:(財)石炭利用総合センター
〒160-0015 東京都新宿区大京町24 住友外苑ビル7階
Tel.03-3359-2251(代) Fax.03-3359-2280
発行者:編集委員会

「CCT Journal」は石炭利用分野の技術革新を目指す
(財)石炭利用総合センターが発行する情報誌です。