

平成21年 5月28日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18404019
 研究課題名（和文） オーストラリア褐炭の長距離輸送技術に関する調査研究
 研究課題名（英文） Survey Research on Long-Distance Transportation of Australian Brown Coal
 研究代表者
 三浦 孝一 (MIURA KOUICHI)
 京都大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：40111942

研究成果の概要：本研究では、将来的に輸入することが見込まれる褐炭資源を使う技術の開発だけでなく、褐炭を採掘・前処理を施している現場の環境を守るための調査や技術が必要であるとの考えのもと、褐炭の最大産出国の一つ、オーストラリアの採炭地の環境調査を行うとともに、褐炭の効率よい安全な輸送技術の開発について検討した。複数の炭鉱、研究施設を訪れ、現地での環境対策、改質技術、褐炭利用技術研究の現況を調査し、褐炭利用に関する課題を抽出することで今後の技術開発にとって有用な情報を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2007年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：反応工学、石炭転換工学

科研分科・細目：工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：褐炭、改質、廃水処理、輸送、炭鉱、ブリケット

1. 研究開始当初の背景

日本はエネルギー資源の95%以上を輸入に頼っており、安定なエネルギー資源の確保が国としての非常に重要な課題であると言える。エネルギー資源としては、エネルギーあたりの二酸化炭素排出量が多いものの、非常に埋蔵量が豊富な石炭を主要なものの一つとして考えていかななくてはならない状況である。日本では釧路コークス株式会社、太平洋炭鉱で唯一石炭の採掘をしているが、年産70万トン規模であり、商用というよりは東南アジア等での採掘事業に対する

技術研修施設的な要素が強い。つまり、これからのエネルギー需要を支えていくには石炭は欠かせない化石資源であるが、日本国内で生産するのではなく、海外、特にオセアニア、東南アジアの環太平洋地域内での関係を強化させて安定な供給を目指す意向であると言える。しかしながら、中国を中心とする発展途上国の急激なエネルギー需要の増加もあり、良質な石炭は石油と同様にそう遠くない将来に不足してくることが予想され、発熱量の低い低品位な石炭の有効利用技術の開発がより重要となってくる。

このような状況のもと、平成 15 年度に 3 年間の期間で、科学研究費補助金の基盤研究 (B) (2) 海外学術調査「オーストラリアにおける褐炭の前処理およびクリーン化技術に関する調査研究」(課題番号 15404024) が採択された。我が国では年間 1 億 5 千万トンもの石炭を使用しているが、オーストラリアからはその 60% 近くを輸入している。大量の石炭を採掘することは自然を大きく変えることになり、それが自然破壊や環境汚染につながることも多い。しかしながら、日本国内においては、輸入後の利用法の研究はされているものの、採炭地の環境に関してはほとんど目が向けられてなかった。そのため、前述の調査研究を申請することになり、採択後、現地での炭鉱調査やオーストラリアの研究者との交流を通し、採炭地の環境保全が非常に重要なテーマとなっていることや褐炭の有効利用技術開発の現状を詳しく調査することができた。

2. 研究の目的

本プロジェクトは、前述の前プロジェクトの成果を踏まえつつ、継続してオーストラリアの採炭地の環境調査を行うとともに褐炭の効率よい安全な輸送技術の開発についても検討していくことを目的としている。褐炭は単に発熱量が低だけでなく、乾燥させると自然発火性が高くなり、長距離輸送が難しいという問題点がある。これが、現在オンサイトの発電にしか用いられていない大きな要因でもある。安全な輸送技術の開発は、現地での事故を防ぐという意味でも、輸入国側が積極的に技術開発すべきものである。本プロジェクトでは、前プロジェクト同様、現地での炭鉱の調査を行うとともにオーストラリアの石炭研究者との交流をはかった。

3. 研究の方法

(1) オーストラリア訪問調査

①西オーストラリア州における調査・討論

平成 18 年度に、三浦、菅原、二宮、中川、蘆田が西オーストラリア州において現地調査および海外共同研究者との討論を実施した。現地調査では、Premier 炭鉱を訪れ、同地域の盛んな鉱物産業を支えるエネルギー源あるいは還元剤の供給源である低品位炭(亜瀝青炭)の広大な採掘現場を視察した。海外研究者 Curtin 工科大学 Dong-ke Zhang 教授を訪問し、セミナーを開催して、情報交換、研究討論を実施した。

②ビクトリア州における調査・討論

平成 18 年度には三浦、菅原、二宮、中川、蘆田が、平成 20 年度には三浦、菅原、二宮、河瀬、中川他 4 名の研究協力者(大学研究者 2 名、企業研究者 2 名)がビクトリア州にお

いて現地調査および海外共同研究者との討論を実施した。現地調査では、Lalor Valley の Loy Yang 炭鉱、Yallourn 炭鉱を訪れ、Loy Yang 炭鉱に隣接して建設され、試験運転中の MTE のパイロットプラントを見学した。さらに、Power Works 社、Energy Brix 社、Environmental Clean Technologies 社を訪れ、現地技術者より情報収集を行った。Energy Brix 社においては、石炭のブリケット製造工程を見学し、その現状と課題について調査を行った。海外研究者 Monash 大学 Alan Chaffee 准教授を訪問し、セミナーを開催して、情報交換、研究討論を実施した。

③ニューサウスウェールズ州における調査・討論

平成 20 年度に三浦、菅原、二宮、河瀬、中川他 4 名の研究協力者(大学研究者 2 名、企業研究者 2 名)がニューサウスウェールズ州において現地調査および海外共同研究者との討論を実施した。まず、Australian Commonwealth Scientific and Research Organization (CSIRO) Energy Technology の石炭研究者を訪問し、研究施設の見学を行うとともに、情報収集を実施した。また、Hunter Valley の Mt Thorley Warkworth 炭鉱の見学を行った。CSIRO では、セミナーを開催し、情報交換、研究討論を実施した。

(2) 褐炭利用に関するオーストラリアとの共同研究

平成 18 年度に大木が豪州 Monash 大学に約 1 週間滞在し、褐炭改質廃水に関する調査を実施した。同大学の研究者らと、褐炭利用廃水の水環境、生物に対する影響や、MTE (Mechanical Thermal Expression) 廃水中に含まれる種々の物質の分析について研究討議を行った。また、現地で種々の条件下の MTE 廃水をサンプリングし、鹿児島大学にて生態毒性試験と Ames 変異原性試験を実施した。

(3) オーストラリア研究協力者の招へい

平成 19 年度、平成 20 年度に、各々数名のオーストラリア研究協力者を日本側の各大学に招へいし、セミナーの開催、石炭関連企業の訪問などをとおして、情報交換、研究討論を実施した。

特に平成 20 年度には、石炭に関する日本で最も大きな学会、石炭科学会議に合わせ Monash 大学の研究協力者を招き、日本の多くの石炭研究者と情報交流する機会を設けた。

本報告書では、(1) オーストラリア訪問調査 と、(2) 褐炭利用に関するオーストラリアとの共同研究 に関する成果の一部を紹介する。

4. 研究成果

(1) オーストラリア訪問調査

①西オーストラリア州における調査・討論

西オーストラリア州唯一の商用炭鉱である Premier 炭鉱は、Perth の南東 200 km に位置する Collie の近傍にある。この地域の歴史は古く、19 世紀末に調査、石炭が発掘された。19 世紀のオーストラリアは、移住のための地域を開発するにあたり、資源の調査、発掘が熱心に行われていた時代である。その後、輸送用の鉄道も敷かれ、第二次世界大戦前には、7000 人の Collie 地区住民のほとんどが炭鉱関係の仕事に就き、年間数十万トンの石炭が採掘された。開山当時の炭鉱は坑内堀であったが、第二次世界大戦時のころから、露天堀が導入され始めた。これは、単に経済性だけでなく、炭鉱労働者は、太陽が昇ると坑内に入り、日が沈んでから出てくることが多いため、ほとんど太陽を見ることができず、労働条件の改善の意味もあった。Wesfarmer Coal 社は、1950 年に Western Collieries 社として発足し、既に 50 年以上の歴史がある。当時は複数の企業がこの炭鉱で石炭を採掘していたが、今ではこの Wesfarmers Coal 社のみになっている。

Wesfarmer Coal 社が供給する Collie 炭は、炭素含有率 75% 程度の低品位な亜瀝青炭である。水分は 27.5% と高いが、硫黄分が 0.7%、灰分が 7.1% と低く、洗炭等の採掘後の処理を必要としない比較的きれいな石炭である。採掘された石炭は、オンラインでは灰分量のみがモニターされているが、2500 トンごとにサンプルが分析室に送られて灰分、水分、硫黄分の量および発熱量が分析されて品質管理されている。Collie 炭は先に述べたように非常にクリーンであるが、反応性が非常に高く、自然発火しやすい。そのために、輸出はされておらず、主に近隣の 2 つの発電所で消費されている。炭鉱内の施設には、熱処理をして自然発火性を抑えるとともに改質し、新しい市場の開拓も試みられていた。



図1 Collie 炭熱処理施設

坑内堀の場合は、地中で石炭層を掘り込んでいくが、露天堀の場合は石炭層の上にある岩石層を取り除いてから石炭層を掘り込んでいく。露天堀の方がはるかに採炭の効率はいいが、採炭場所の自然を大きく破壊することになる。そのため、通常は厳しい規制が設けられており、採炭後に取り除いた岩石層等を元に戻し、植林等で自然を再生しなければならない。我々が見学した時には、爆破で岩石層を破壊するところを見ることができた。これは“blasting”と呼ばれており、緻密な調査で最適な爆薬の量を計算している。この“blasting”は頻繁に行われ、年間 600 回にも及んでいるので、騒音公害にならない配慮が必要である。この炭鉱では昨年 1 年間で“blasting”による苦情は 1 件もなく、非常に気を遣っていることがうかがい知れた。Premier 炭鉱の地層は、表層土が厚く、露天堀といってもかなり深く掘り込んでいた。そのために非常に大きなくぼみができるので、先に述べた自然の再生がより重要になる。彼らは、これを“Rehabilitation”と呼んでおり、想像していたよりも遙かに規模が大きく、緻密なケアがなされていた。また、炭鉱内の道路を散水車が水をまきながら走っていた。案内役のドライバーに水をまいている理由を聞いたところ、粉じん対策であった。露天堀の上にオーストラリアの夏は特に乾燥しており、粉じんが舞い上がりやすい状況にある。訪問時も気温は 37℃ と非常に高かったが、乾燥しているために意外にも過ごしやすいほどであった。ただし、この 1 年で粉じんによるクレームは 1 件だけであったようである。



図2 Collie 炭 炭鉱

Collie の人口は 9000 人であり、炭鉱とともに発展してきた町である。Premier 炭鉱は、300 人の雇用労働者をかかえており、経済的にも大きな影響を持っているため、地元のコミュニティを積極的にサポートしながら環境保全にも努めてきた。これまでに採掘のために 2650 ha もの土地を掘ってきたが、そのうちの 50% 程度を既に“Rehabilitation”している。基本的には植林等で自然を復活させることであるが、さらに人々のレクリエーション

ヨンになるものも造ってきている。Western 5B（個々の採炭サイトにはこのような名前が付けられている）は緑に囲まれた 103 ha の湖（Kepwari 湖）にし、地元の人に憩いの場となるようにしている。ここでは、さらに水生動植物を研究することにより湖の水質管理も行っていた。

②ビクトリア州における調査・討論

ビクトリア州 Latrobe Valley の Loy Yang Power site に隣接して建設され、試験運転中の MTE のパイロットプラントを見学した。MTE 法は、褐炭に機械的な荷重を負荷しながら加熱して脱水するもので、水を蒸発させずに液体のまま蒸発させる点に特徴がある。この方法は、元々ドイツの Dortmund 大学の Strauss らによって開発された方法であるが、オーストラリアの Cooperative Research Centre for Clean Power from Lignite (CRC) によってより実用的な方法に発展された。CRC で開発された方法では、荷重を負荷する前に石炭と水のスラリーを必要な温度まで予熱して、その後プレスすることにより、脱水に必要な時間を短縮し処理量を増やすことができるとされている。これまでに、ラボスケールの試験に加え、1 トン/時の処理量のパイロットプラントでテストが行われてきたが、このほど、Latrobe Valley の発電各社や Commonwealth Government、Victorian Government の支援のもと、15 トン/時の処理能力を有するパイロットプラントが Loy Yang Power site に建設された。見学した同プラントでは、未粉碎の



図3 MTEパイロットプラント



図4 Loy Yang Power site

生褐炭と 200°C に予熱された水（スチーム）を重量で 3:1（生褐炭:水）に混合したスラリーで供給されるとのことであった。6 MPa の機械圧が 3 分間負荷されることにより褐炭が脱水され、含水率は 30 ~ 38% (wet basis) となることが実証されていた。スラリー中の水の約 70% が除去されたことになり、生褐炭中の水の約半分が除去されたことになる。製造されたブリケットは直径 2 m、高さ 20 cm の大きさになるが、ラボスケールでは見られなかった圧力解放後の脆弱性が確認されていた。次の段階（商用化までの最終段階）として 200 トン/時の実機プラントの建設が計画されている。今回のプラントでは行われていなかった熱回収も実機プラントでは実施するそうである。しかし、ラボスケールでは見られなかった脆弱性の問題や廃水処理の問題を含め検討されなければならない課題は残されている。

Monash 大学 Clayton キャンパスを訪問し、Department of Chemical Engineering と School of Chemistry の研究者らとセミナーを開催した。セミナーには Monash 大学の研究者 8 名に加え、CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) や HRL Technology の研究者らも参加し、活発な研究討論が行われた。日本側メンバーからは、三浦が褐炭の水熱抽出、水熱ガス化プロセスの開発に関する講演を、二宮が石炭燃焼時の灰に含まれるリン化合物の挙動についての講演を、菅原が石炭熱分解時の有害微量金属の放出挙動に関する講演を行った。Monash 大学からは、Department of Chemical Engineering の Prof. Chun-Zhu Li が自身の研究紹介として、Applied Catalysis、Utilisation of Biomass、Utilisation of Brown Coal に関する研究内容を紹介された。褐炭に関する研究では、ガス化、熱分解、燃焼のメカニズムについての研究や速度論的研究を展開していた。また、School of Chemistry の Assoc. Prof. Alan Chaffee が、MTE Water Quality and Remediation についての講演を行った。MTE (Mechanical Thermal Expression) 法と呼ばれる褐炭の脱水プロセスにおいて排出される廃液の詳細なキャラクター化を示すとともに、同廃水に含まれる成分の褐炭への吸着除去の試みを紹介した。最後に、Department of Chemical Engineering の Dr. Andrew Hoadley による、Superheated Steam Drying of Lignite と題する講演があった。セミナー後に、メンバーは Department of Chemical Engineering と School of Chemistry の各研究室を見学した。Assoc. Prof. Alan Chaffee の研究室では、石炭の

自然発火性を試験する装置を紹介されるなど、彼らの特色ある研究設備を調査することができた。



図5 Monash 大学 Clayton キャンパスで開催されたセミナーの様子

(2) 褐炭利用に関するオーストラリアとの共同研究

平成 18 年度、大木がメルボルン市の郊外に位置する Monash University Clayton Campus の理学部化学科の Dr. Alan L. Chaffee 研究室に滞在した。Dr. Chaffee 研究室のテーマの一つに、褐炭に機械的な荷重を負荷しながら加熱することにより脱水する Mechanical Thermal Expression (MTE)法がある。大木は、MTE 法による排水および通常の水熱処理 (HTT) 操作による排水について、生態毒性試験や変異原性試験などの環境影響評価を行った。

この滞在中に、同大学 Water Studies Centre の Dr. Mike Grace と、褐炭利用排水の水環境に対する影響について議論を行った。また、同大学の Gippsland Campus も訪ね、Dr. Phillip Brook-Carter と褐炭利用排水の生物影響について、Dr. Alison Green と MTE 排水に含まれる種々の物質の分析について討論を行った。さらに、メルボルン市内にある MTE Developments を訪ね、MTE のパイロットプラントについて、Malcom McIntosh 氏に話をお聞きした。

生態毒性試験では、MTE 廃水が 350°Cでの HTT(水熱処理)廃水に匹敵する毒性を示したが、これは廃水中に含まれる有機物のみの毒性ではなく、銅イオンの毒性もかなり寄与している可能性が示唆された。変異原性試験においては、MTE 廃水および HTT 廃水ともに変異原性は見られなかったが、これらの廃水を塩素処理すると顕著な変異原性が発現することがわかった。

従来の石炭利用プロセスに伴う環境汚染防止の研究は、イオウ酸化物や窒素酸化物などの大気汚染に関するものが主体であった。水環境への汚染に関しては、洗炭過程や褐炭の upgrading 過程において生じる排水に含ま

れる有機炭素量 (TOC、COD、BOD など) が問題となることはあったが、環境影響評価を積極的に行った研究は大木らのもの以外はほとんどない。有機化合物の中には、内分泌攪乱物質や変異原性物質など超微量の存在でも大きな毒性を示すものがあり、単に排水の有機炭素量指標 (TOC や BOD など) が規制値をクリアすればよいというものではない。特に、褐炭等の低品位炭の効率的利用においては、褐炭中水分の脱水プロセスが必須であり、高 TOC の排水が発生する。この排水中の成分は前述したようにフミン質的な物質であり、フミン質は塩素処理などによって高い変異原性を発現する。今後の石炭利用においては、褐炭等の低品位炭利用が促進されると考えられるので、排水の環境影響評価の研究は非常に重要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 孝一 (MIURA KOUICHI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40111942

(2) 研究分担者

河瀬 元明 (KAWASE MOTOAKI)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60231271
中川 浩行 (NAKAGAWA HIROYUKI)
京都大学・環境保全センター・准教授
研究者番号：40263115
蘆田 隆一 (ASHIDA RYUICHI)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：80402965
長谷川 功 (HASEGAWA ISAO)
京都大学・地球環境学堂・助教
研究者番号：20346092

(3) 連携研究者

大木 章 (OHKI AKIRA)
鹿児島大学・工学部・教授
研究者番号：20127989
菅原 勝康 (SUGAWARA KATSUYASU)
秋田大学・工学資源学部・教授
研究者番号：60154457
二宮 善彦 (NINOMIYA YOSHIHIKO)
中部大学・工学部・教授
研究者番号：10164633