

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20246118

研究課題名 (和文) 水熱抽出、水熱ガス化複合プロセスを利用した  
褐炭の高効率転換法の開発研究課題名 (英文) Development of efficient conversion method of low rank coals  
utilizing a process combining hydrothermal extraction with  
hydrothermal gasification

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 (和文)：

本研究では、埋蔵量が豊富で安価だが、高含水率で発熱量の低い低品位の褐炭の転換プロセスとして、水熱処理により褐炭を脱水、改質し、高品位炭に匹敵する石炭を得る前段プロセスと、水熱処理の際に褐炭から抽出される水溶性有機物を、我々が開発したニッケル担持炭素触媒を用いてガス化し、水素、メタンの燃料ガスに変換する後段プロセスから成る水熱抽出－水熱ガス化複合プロセスを提案し、提案法が褐炭を高効率かつクリーンにエネルギー源へ転換する方法として優れていることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

We have proposed an efficient conversion method of low rank coals such as brown coals, which consists of hydrothermal extraction and subsequent hydrothermal gasification. The hydrothermal extraction at around 350°C can convert low rank coals into upgraded coal having less moisture and larger heating value as well as small molecular weight compounds as extracts. The extracts are subsequently gasified to fuel gases such as methane and hydrogen under hydrothermal condition using Ni-loaded carbon catalyst developed by us. It was shown that the proposed method can convert low rank coals into upgraded coals, fuel gases, and clean water without a loss of heating value of the original coal.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費       | 合計         |
|--------|------------|------------|------------|
| 2008年度 | 17,500,000 | 5,250,000  | 22,750,000 |
| 2009年度 | 12,100,000 | 3,630,000  | 15,730,000 |
| 2010年度 | 9,500,000  | 2,850,000  | 12,350,000 |
| 年度     |            |            |            |
| 年度     |            |            |            |
| 総計     | 39,100,000 | 11,730,000 | 50,830,000 |

研究分野：反応工学、石炭転換工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：褐炭、改質、水熱抽出、水熱ガス化、自然発火性、メタン、水素、熱軟化溶解性

## 1. 研究開始当初の背景

石炭の確認可採埋蔵量は約1兆トンと言われ、可採年数は約155年にも上る。これは石油の可採年数約40年をはるかに上回る。また、政情が不安定な中東に集中している石

油とは異なり、世界各地に広く分布しているために日本にとって安定供給可能な貴重な資源であると言える。近い将来、石油の枯渇が懸念される中、また現在においても原油価格が恒常的に高騰する中、好むと好まざるに

かかわらず石炭を利用していかねばならないと考えられる。

石炭の可採埋蔵量のうち約半分は、褐炭、亜瀝青炭と呼ばれる低品位の石炭で占められている。高品位な瀝青炭が火力発電や鉄鋼用コークス製造に多く用いられているのに対して、褐炭のような低品位の石炭は豊富な埋蔵量にもかかわらず、そのほとんどが未利用である。その理由の一つは、低品位の石炭は多くの酸素原子を含む化合物から成るために親水性が非常に高く、水分を多量に含んでいるためである。例えば、オーストラリアビクトリア州で採れる褐炭では、約6割が水分であり、仮にそのまま輸送するとすれば半分以上は水を運ぶに等しくなってしまう上に、燃焼時の発熱量も著しく小さい。しかしながら、単純に乾燥した褐炭は自然発火性が非常に高く、輸送は困難を極める。これらの理由から褐炭の利用は採炭地での発電という限られた利用にとどまっている。

しかし、褐炭のような低品位の石炭は、非常に安価で、豊富な埋蔵量を持ち、しばしば灰分が少なくクリーンであるといった利点も持ち合わせていることから、このような低品位炭を高効率に利用する新規転換法の開発が強く望まれている。特に、高品位の石炭の枯渇が懸念される近い将来において、現状ではエネルギー変換効率の著しく低い低品位炭を、高品位炭と同等かそれ以上の効率で利用できる技術が開発されれば、エネルギー問題、CO<sub>2</sub>排出の問題にも対応した技術となる。

転換法開発のポイントは、上述の欠点を克服するために、褐炭の脱水と改質を同時に行うということである。すなわち、褐炭から水分を除くと同時に、褐炭の親水性を低下させ自然発火性を抑制するように褐炭の構造を変化させることが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、豊富な埋蔵量にもかかわらず、そのほとんどが未利用である低品位の石炭の、利用における問題点を克服した新規高効率転換プロセスを開発することを目的とした。

褐炭の高効率転換プロセスとして、水熱処理による褐炭の脱水改質、石炭の高温での抽出、さらに脱水処理水の含有有機物の水熱ガス化を合理的に結合した褐炭の水熱抽出ー水熱ガス化プロセスを提案した(図1)。このプロセスは、水熱処理により褐炭を脱水、改質し、高品位炭に匹敵する石炭を得る前段プロセスと、水熱処理の際に褐炭から抽出される水溶性有機物を、我々が開発したニッケル担持炭素触媒を用いてガス化し、水素、メタンの燃料ガスに変換する後段プロセスから成る複合プロセスである。

提案法の妥当性を検討するため、まずは、

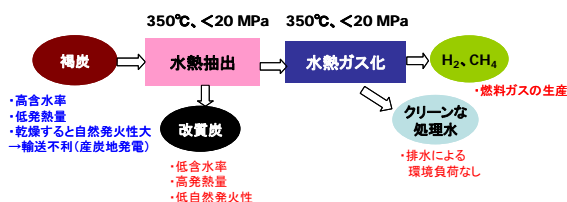


図1 提案する水熱抽出ー水熱ガス化プロセスの概念図

(1)前段の水熱抽出プロセス、(2)後段の水熱抽出プロセスについて個別に検討を加えた。そして最後に(3)両者を同時に行う実験を実施してプロセス全体の効率を評価した。

## 3. 研究の方法

### (1) 褐炭の水熱抽出プロセスの検討

実験試料として表1に示す7種類の褐炭と、比較試料として、おがくず(SD)、0-メチル化したLY炭(LYome)、高灰分の亜炭(SG)、ならびに瀝青炭(PT)を用いた。

図2に抽出に使用した装置の概略図を示す。含水状態の原炭約1g(≪24メッシュ)を、反応管内のSUS製ガスケットフィルタ(外径11.2mm、孔径0.5μm)上に仕込み、水(W)をHPLCポンプにより1cm<sup>3</sup>/minの流量で送った。背圧弁を用いて抽出温度(300、350℃)における水の飽和蒸気圧以上の圧力に保ちながら、所定の温度に設定した流動砂浴に投入した。抽出器は約50℃/minで昇温される。高温の溶剤によって抽出される成分のうち室温の溶剤に不溶な抽出物を、背圧弁前の冷却部のSUS製フィルタ(孔径0.5μm)で回収した。フィルタを通過した液体を捕集瓶に、

表1 使用した試料の性状

| Sample name<br>(abbreviation) | Ultimate analysis<br>[wt%, d.a.f.] |     |     |     |              | Proximate analysis<br>[wt%, d.b.] |      |      | Moisture<br>[wt%, a.r.] |
|-------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|--------------|-----------------------------------|------|------|-------------------------|
|                               | C                                  | H   | N   | S   | O<br>(diff.) | VM                                | FC   | Ash  |                         |
| Belarus Peat (BP)             | 54.5                               | 5.0 | 3.0 | 0.3 | 37.5         | 51.1                              | 32.0 | 16.9 | 26.9                    |
| Philippine Lignite (PL)       | 67.8                               | 5.5 | 1.4 | 0.5 | 24.8         | 41.9                              | 28.8 | 29.2 | 28.9                    |
| Thai Lignite (TL)             | 58.3                               | 4.2 | 2.2 | 3.6 | 31.7         | 48.9                              | 38.0 | 13.1 | 27.5                    |
| Wara (WR)                     | 65.7                               | 4.6 | 1.1 | 0.2 | 28.4         | 50.5                              | 47.9 | 1.5  | 37.3                    |
| Loy Yang (LY)                 | 66.9                               | 4.7 | 0.7 | 0.3 | 27.5         | 49.6                              | 49.0 | 1.5  | 57.8                    |
| Berau Binungan (BB)           | 69.6                               | 4.9 | 1.0 | 0.3 | 24.2         | 42.0                              | 52.1 | 6.0  | 24.4                    |
| Mukah Balingan (MB)           | 74.4                               | 5.4 | 1.9 | 0.2 | 18.1         | 43.6                              | 55.1 | 1.3  | 27.9                    |
| Sawdust (SD)                  | 47.3                               | 5.6 | 0.0 | 0.0 | 47.1         | 82.2                              | 16.0 | 1.9  | 6.8                     |
| O-methylated LY (LYome)       | 69.6                               | 7.7 | 1.9 | 0.1 | 20.7         | 68.3                              | 30.7 | 0.9  | -                       |
| Salmon Gums Lignite (SG)      | 51.4                               | 5.3 | 0.9 | 3.9 | 38.4         | 40.8                              | 13.8 | 45.4 | 50.0                    |
| Pittsburgh (PT)               | 81.2                               | 5.4 | 0.8 | 0.9 | 11.7         | 32.7                              | 53.1 | 14.3 | 1.8                     |

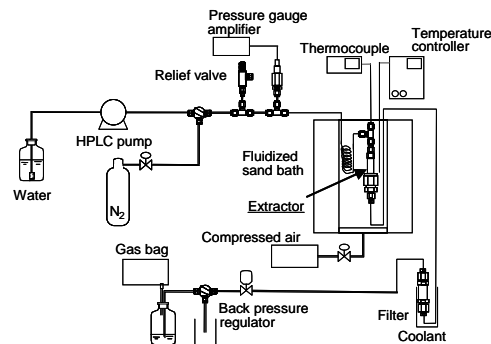


図2 低品位炭の水熱抽出に用いた装置の概略図

ガスをガスバッグに回収した。反応器内が目的温度に達してから 90 分間保持した後、抽出器を水冷した。捕集した抽出液は室温で一晩静置した後、メンブレンフィルタ (0.45  $\mu\text{m}$ ) を用いて濾過した。この操作により、褐炭は、抽出器に残る固体である改質炭

(Upgraded Coal, UC)、室温で固体の抽出物 (Deposit, D)、室温で溶剤に溶解している抽出物 (Soluble, S) に分離される。得られた試料名を [石炭名]-[抽出温度]-[溶媒]-[UC, D, S] のように示す。例えば LY-350-W-UC は、Loy Yang を 350  $^{\circ}\text{C}$  において水によって抽出して得られた改質炭を表す。

## (2) 褐炭の水熱抽出プロセスの検討

我々は、種々のカチオンで交換したイオン交換樹脂を 500~900  $^{\circ}\text{C}$  で熱分解、炭素化するという簡単な操作で、多孔性炭素中に大量の金属が高分散して存在する特異な炭素多孔体を製造している。図 3 に、弱酸性の陽イオン交換樹脂 (三菱化学; WK-11) を  $\text{Ni}^{2+}$  でイオン交換してから 500  $^{\circ}\text{C}$  で焼成して製造した Ni 担持炭素多孔体の SEM、ならびに TEM 写真を示す。得られた炭素多孔体は元の樹脂の球状形状を保持しており、非常に硬度が高い。また、表面積は約 200  $\text{m}^2/\text{g}$  で、マイクロ、マクロ細孔をとともに有している。Ni の含有率が 50 wt% にも達し、かつそれが、TEM 写真からわかるように、3~4 nm の Ni 超微粒子として存在していることが特徴である。ここでは、この Ni 担持炭素多孔体を褐炭抽出物の水熱ガス化触媒として使用した。

試料として、表 1 に示した TL、WR、LY、SD、SG を用いた。これらを (1) の方法で 350  $^{\circ}\text{C}$

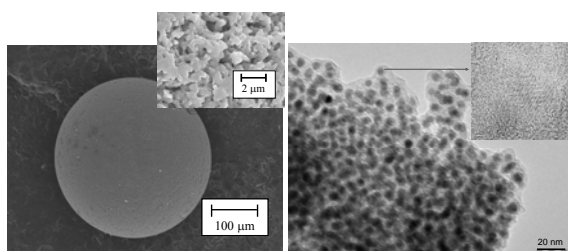


図 3 イオン交換樹脂を前駆体として調製した Ni 担持炭素触媒の SEM(左)と TEM(右)像図

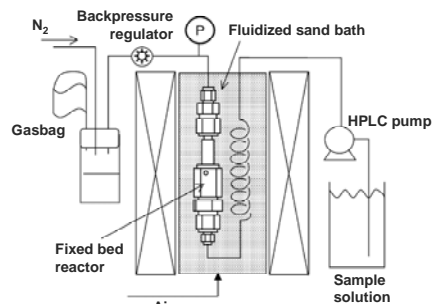


図 4 水熱ガス化実験に用いた装置の概略図

にて抽出し、得られた Soluble、Deposit を水熱ガス化実験に供した。

図 4 に、水熱ガス化実験に用いた装置の概略図を示す。1.7 g の Ni 担持炭素触媒を、触媒反応器内の SUS 製ガスケットフィルタ (孔径 10  $\mu\text{m}$ ) 上に充填した。Soluble は調製された水溶液のまま、Deposit は 0.1 wt% の濃度で 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に溶解させた状態で、HPLC ポンプを用いて、触媒層に送液した。いずれの低品位炭から得られた Deposit も、水酸化ナトリウム水溶液に完全に溶解した。LHSV = 5  $\text{h}^{-1}$  となるように、流量を 0.15  $\text{cm}^3/\text{min}$  とした。背圧弁を用いて、系内の圧力を 18 MPa に調整し、反応器を流動砂浴によって目的温度 (300、350  $^{\circ}\text{C}$ ) まで加熱した。生成物は、背圧弁の後方に設置された捕集瓶とガスバッグに回収した。

## (3) 水熱抽出-水熱ガス化プロセスの検討

試料には、表 1 に示した LY 炭を用いた。図 5 に、水熱抽出-水熱ガス化実験に用いた装置図を示す。含水原炭約 1 g を抽出器内の SUS 製ガスケットフィルタ (孔径 0.5  $\mu\text{m}$ ) 上に、Ni 担持炭素触媒約 17 g を反応器内の SUS 製ガスケットフィルタ (10  $\mu\text{m}$ ) 上に仕込み、HPLC ポンプにより蒸留水を供給した。背圧弁を用いて抽出温度における水の飽和蒸気圧以上の圧力 (300  $^{\circ}\text{C}$  の時 10 MPa、350  $^{\circ}\text{C}$  の時 18 MPa) に保った後、送液を停止すると同時にポンプ直下の弁を閉じ系内を目的圧力とした。抽出器と反応器を流動砂浴に投入し、抽出器内が目的温度に達した所で弁を開け、1  $\text{cm}^3/\text{min}$  で送液を開始し 110 分保持した。触媒反応器における LHSV は 3.5  $\text{h}^{-1}$  となる。反応器下流では、背圧弁前の冷却部で析出する固体をフィルタで回収し、通過した液体を捕集瓶に、ガスをガスバッグに回収した。この操作により褐炭は、反応器に残る改質炭 (Upgraded Coal, UC と記す)、室温で固体の未反応抽出物 (Ur-deposit)、水に溶解している未反応抽出物 (Ur-soluble)、ガス (Gas) に転換される。

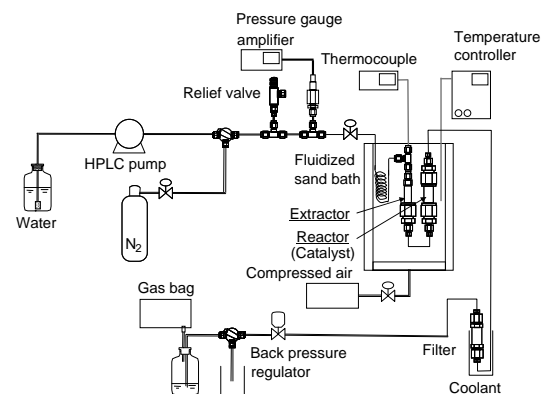


図 5 水熱抽出-水熱ガス化実験に用いた装置図

#### 4. 研究成果

##### (1) 褐炭の水熱抽出プロセスの検討

図6に、LY炭と、LY炭を350℃で水熱抽出して得られた改質炭(UC)、Deposit、Solubleの外観を示す。固体試料はいずれも乾燥されたものである。原炭は、褐炭という名の通り褐色である。一方、改質炭は黒色、Deposit、Solubleは黄褐色を呈していた。

図7(a)、(b)に、300、350℃の水によって各種試料を抽出して得られた各生成物の収率を示す。いずれの抽出温度においても、より低品位な試料ほど高い抽出率を示す傾向にあった。350℃の水熱抽出におけるBPとMBの抽出率は、それぞれ70、40%であり、バイオマスのSDは95%にも達した。また、瀝青炭であるPTの抽出率は約22%であった。LY炭は、原炭の抽出率が54%であったのに対し、0-メチル化処理を施したLYomeの抽出率は76%に達した。これは、含酸素官能基が0-メチル化されたことによって、LY炭の凝集構造が水素結合ではなく van der Waals力によって支配されるようになったため、より低温で凝集構造が解放されて低分子成分が抽出されやすくなったためと考えられる。また、0-メチル化によってカルボキシル基を含有する成分の分解縮合による重質化が抑制されたことも、改質炭収率が低下した要因であると推測される。

改質炭(UC)の元素分析を行ったところ、改質炭は原炭と比べて大きく炭素含有率が増加し、酸素含有率が低下していた(表2; 一部の石炭について例示)。また、改質炭の含水率が低下していたことから、水熱処理に

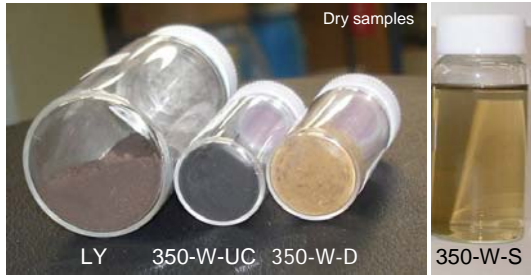


図6 LY炭と、LY炭を350℃で水熱抽出して得られた改質炭、Deposit、Solubleの外観

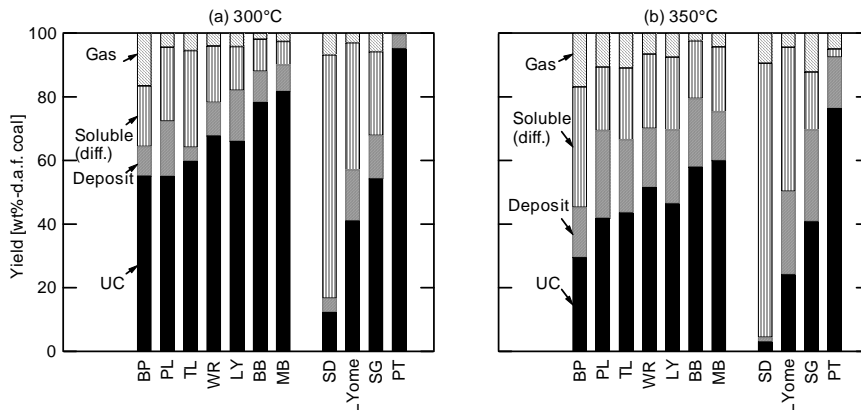


図7 各種試料を(a) 300℃、(b) 350℃で水熱抽出して得られた各生成物の収率

表2 各種試料を水熱抽出して得られた各生成物の元素分析値(一例)

| Sample      | Ultimate analysis [wt%, d.a.f.] |     |     |     |         | Ash [wt%, d.b.] | Atomic ratio [-] |      | HHV [MJ/kg, d.b.] |
|-------------|---------------------------------|-----|-----|-----|---------|-----------------|------------------|------|-------------------|
|             | C                               | H   | N   | S   | O(diff) |                 | H/C              | O/C  |                   |
| TL          | 58.3                            | 4.2 | 2.2 | 3.6 | 31.7    | 13.1            | 0.86             | 0.42 | 19.2              |
| TL-300-W-UC | 67.2                            | 3.9 | 3.4 | 1.8 | 23.7    | 11.6            | 0.69             | 0.27 | 22.4              |
| TL-350-W-UC | 73.2                            | 4.2 | 2.7 | 2.2 | 17.7    | 13.6            | 0.68             | 0.18 | 24.8              |
| TL-300-W-D  | 70.4                            | 6.0 | 2.1 | 1.8 | 19.7    | 5.1             | 1.03             | 0.21 | 28.2              |
| TL-350-W-D  | 77.0                            | 6.4 | 2.1 | 2.7 | 11.8    | 1.5             | 1.00             | 0.12 | 33.6              |
| WR          | 65.7                            | 4.6 | 1.1 | 0.2 | 28.4    | 1.5             | 0.84             | 0.33 | 24.5              |
| WR-300-W-UC | 69.7                            | 4.2 | 1.2 | 0.1 | 24.8    | 0.9             | 0.73             | 0.27 | 25.8              |
| WR-350-W-UC | 73.2                            | 3.7 | 1.3 | 0.1 | 21.7    | 2.8             | 0.61             | 0.23 | 26.1              |
| WR-300-W-D  | 71.3                            | 6.2 | 0.9 | 0.1 | 21.5    | 0.0             | 1.04             | 0.23 | 29.8              |
| WR-350-W-D  | 74.7                            | 6.8 | 0.9 | 0.1 | 17.5    | 0.0             | 1.09             | 0.18 | 32.3              |
| LY          | 66.9                            | 4.7 | 0.7 | 0.3 | 27.4    | 1.5             | 0.84             | 0.31 | 25.1              |
| LY-300-W-UC | 71.7                            | 3.8 | 0.7 | 0.2 | 23.6    | 1.0             | 0.64             | 0.25 | 26.0              |
| LY-350-W-UC | 76.2                            | 3.5 | 0.8 | 0.2 | 19.3    | 0.7             | 0.55             | 0.19 | 27.7              |
| LY-300-W-D  | 67.3                            | 5.2 | 1.0 | 0.2 | 26.3    | 0.8             | 0.93             | 0.30 | 26.3              |
| LY-350-W-D  | 74.2                            | 5.8 | 1.0 | 0.2 | 18.8    | 2.2             | 0.94             | 0.19 | 29.9              |
| BB          | 69.6                            | 4.9 | 1.0 | 0.3 | 24.2    | 6.0             | 0.84             | 0.27 | 25.5              |
| BB-300-W-UC | 70.7                            | 4.7 | 1.0 | 0.2 | 23.4    | 7.4             | 0.79             | 0.25 | 25.4              |
| BB-350-W-UC | 72.0                            | 4.3 | 1.1 | 0.2 | 22.5    | 9.0             | 0.71             | 0.24 | 25.0              |
| BB-300-W-D  | 73.9                            | 6.2 | 0.9 | 0.2 | 18.7    | 0.8             | 1.01             | 0.19 | 30.8              |
| BB-350-W-D  | 76.0                            | 6.6 | 1.1 | 0.3 | 15.9    | 3.1             | 1.04             | 0.16 | 31.7              |

よって褐炭の含酸素官能基が効果的に除去されていることが示唆された。また、このことは改質炭の発熱量が大幅に増加したことから確認された。350℃において得られたDepositは、300℃で得られたものより水素含有率が高く、より水素リッチな成分であることがわかった。350℃の水熱抽出によって得られたDepositの炭素含有率は約74.2~79.2%、酸素含有率は約11~19%であった。

ヘリウム希釈酸素(0<sub>2</sub> 22%)中、10℃/minの昇温速度で加熱したときの改質炭および原炭の重量変化を測定したところ、いずれの褐炭についても、原炭よりも改質炭のほうが400℃以下での重量減少量が小さかった。すなわち、改質炭は、400℃以下でのO<sub>2</sub>との反応性が原炭よりも小さくなっており、原炭に比べ自然発火性が抑制されている可能性が示唆された。

Depositの熱機械分析を実施したところ、すべてのDepositが200℃前後で軟化溶解することがわかった。このことは、Depositを製鉄用コークス製造に用いる粘結材などとして利用できる可能性を示唆しており、前段の水熱抽出プロセスでDepositだけを回収するスキームも選択しようと考えている。

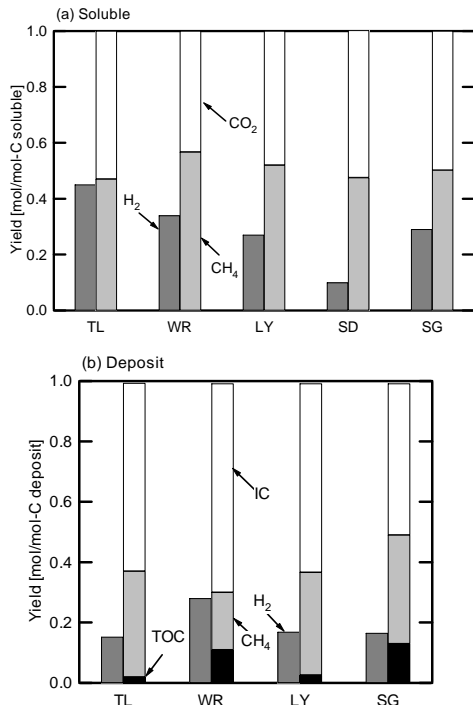


図8 (a) Soluble、(b) Depositを水熱ガス化して得られた各生成物の収率

(2) 褐炭の水熱抽出プロセスの検討

図8 (a)、(b)に、各抽出物を350 °CでNi担持炭素触媒を用いて水熱ガス化して得られた各生成物の収率を、各抽出物に含まれる炭素基準で示す。SDから得られた抽出物はほとんどSolubleであったため、Depositの触媒水熱ガス化は行わなかった。いずれの低品位炭から調製されたSolubleも完全にガス化され、水素、メタン、二酸化炭素に転換された。提案プロセスにおいて、室温での水溶性有機物を完全に燃料ガスに転換することが可能であることがわかり、処理水に炭素分を排出しないことがわかった。Solubleの水熱ガス化によって、Solubleに含まれる炭素1 mol当たり0.09~0.45 molの水素と0.47~0.57 molのメタンが得られた。

Depositのガスへの転化率は炭種に依存した。生成した二酸化炭素は、水酸化ナトリウム水溶液に溶解した状態で回収された(図中のIC)ため、生成ガスはメタンと水素のみが存在する高品位な燃料ガスであった。図中のTOCは、触媒に接触後も水酸化ナトリウム水溶液中に残留した有機炭素分であり、ガス化されなかったDepositに相当する。TLとLYから調製されたDepositは、ほぼ完全にガス化されたが、WRとSGから得られたDepositのガスへの転化率は、それぞれ0.90、0.87であった。高分子量成分に富むDepositほど転化率が低いことがわかり、Ni担持炭素触媒を用いた水熱ガス化が有効である上限の分子量が存在することが示唆された。室温で固

体である炭化水素であっても、水酸化ナトリウム水溶液に溶解するものであれば、流通式の操作でNi担持炭素触媒を用いた水熱ガス化を実施できることがわかった。

(3) 水熱抽出-水熱ガス化プロセスの検討

図9 (a)、(b)に、300、350 °CでLY炭を水熱抽出して得られた各生成物の収率と、同じ温度で同時に水熱抽出-水熱ガス化を行って得られた各生成物の収率を、原炭に含まれる炭素基準で示す。図中のDiff.は、回収されなかった炭素分を示し、実験装置の管路に残留するか、真空乾燥中に揮発したDepositに起因するものと考えられる。

図9 (a)に示すように、300 °Cでは改質炭が70%得られ、28%の抽出物(Soluble、Deposit)が触媒層に導入された。抽出物は抽出と同条件の触媒水熱ガス化によって、その57%がガス化され、メタンと水素が原炭中の炭素1 mol当たりそれぞれ0.036、0.006 mol発生することがわかった。処理を通じた未反応抽出物(Ur-soluble、Ur-deposit、Diff.)の収率は12%であり、清浄な処理水が得られたとは言えない。

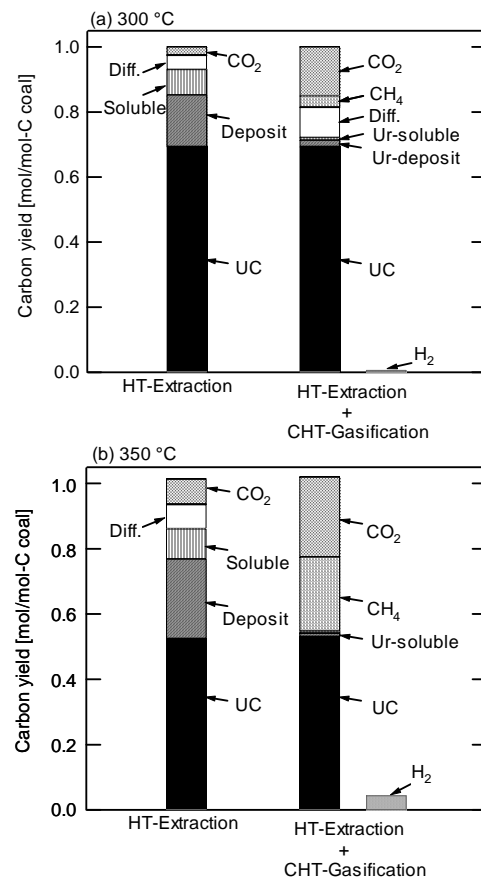


図9 (a) 300 °C、(b) 350 °CでLY炭を水熱抽出して得られた各生成物の収率(左側棒グラフ)と同じ温度で水熱抽出-触媒水熱ガス化を行った時に得られた各生成物の収率(右側棒グラフ)

一方 350 °C においては、改質炭が 53 % 得られ、41 % の抽出物が触媒層に導入された。抽出物は 97 % がガス化され、メタンと水素が原炭中の炭素 1 mol 当たりそれぞれ 0.23 mol、0.044 mol 発生することがわかった。実験後、背圧弁の前に設置されたフィルタによって回収される固体抽出物は全く無かった。また、炭素の回収ロス (Diff.) はほとんど認められなかった。350 °C の水熱抽出-水熱ガス化を通じて得られた未反応抽出物の収率は 1.5 % であり、本プロセスからの排水はほとんど有機物を含まないことがわかった。低品位炭の抽出物を完全にガス化するためには、水熱ガス化を 350 °C 程度の水熱条件下で実施する必要があることがわかった。

乾燥試料基準における冷ガス効率は 0.97、原炭と改質炭に付着する水を考慮した場合は 1.07 となり、本プロセスが全体として吸熱過程であることがわかった。提案法は、350 °C という比較的低温で操作でき優れた熱効率を示す上に、排水処理が不要であることから、褐炭を高効率かつクリーンにエネルギー源へ転換する方法として優れていることを明らかにした。

一方、本報告書においては詳細を割愛したが、改質炭の有効利用法として、鉄鋼用コークス原料としての可能性を検討したところ、原料炭の一部を改質炭で置き換えることでガス化反応性に優れたコークスを製造できることがわかった。

## 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 4 件)

- ① Masato Morimoto, Hiroyuki Nakagawa, Kouichi Miura  
Conversion of a Wide Range of Low-Rank Coals into Upgraded Coals and Thermoplastic Extracts Having Similar Chemical and Physical Properties Using Degradative Hydrothermal Extraction、査読有、24 (5)、2010、3060-3065、Energy & Fuels
- ② 蘆田 隆一、森本 正人、牧野 祥啓、モンティチャー パタラパヌサック、三浦 孝一、加藤 健次、大田 晃平  
コークス製造用石炭資源拡大のための低品位炭改質技術の開発、査読有、96 (5)、2010、240-248、鉄と鋼
- ③ Masato Morimoto, Hiroyuki Nakagawa, Kouichi Miura  
Low Rank Coal Upgrading in a Flow of Hot Water、査読有、23、2009、4533-4539、Energy & Fuels

- ④ 三浦 孝一、蘆田 隆一  
コークス用石炭資源拡大を目的とした褐炭の改質、査読無、87、2008、353-359、日本エネルギー学会誌

[学会発表] (計 2 件)

- ① Xian Li, Yusuke Hasegawa, Masato Morimoto, Ryuichi Ashida, Kouichi Miura, Conversion of low-rank coals into upgraded coals and extracts having similar chemical and physical properties using degradative solvent extraction  
240th ACS National Meeting, 2010 年 8 月 24 日, Boston, MA, USA
- ② Kouichi Miura, Masato Morimoto, Nakorn Worasuwannarak, Hiroyuki Nakagawa  
Catalytic Hydrothermal Gasification of Extract Prepared by Hydrothermal Extraction of Brown Coal  
8<sup>th</sup> World Congress of Chemical Engineering (WCCE8), 2009 年 8 月 21 日, Montreal, Canada

## 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：4 0 1 1 1 9 4 2

### (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：6 0 2 3 1 2 7 1  
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：8 0 4 0 2 9 6 5

### (3) 連携研究者