# 研究論文

# 木質バイオマスの昇温速度を考慮した熱分解解析

Analysis of Pyrolysis of Woody Biomass with Heating Rate

田之上 健一郎\*\* 襾 村 日名内 拍\*\*\* 巃 夫\* 竜 Ken-ichiro Tanoue Tatsuo Nishimura Tatsuya Hinauchi 内 希\*\*\*\* 内 Ħ 也\*\*\* 謙 美 ----笹 谷 Kazuya Uchida Ken-ichi Sasauchi Miki Taniguchi (原稿受付日2006年6月26日,受理日2006年10月20日)

#### Abstract

The pyrolysis of woody biomass has been studied experimentally in attending to the mass transfer with the heating rate of biomass layer. The transfer for the pyrolysis is divided by three regions of the setting temperature,  $T_{\rm s}$ . For the first region, for 200 °C <  $T_{\rm s}$  < 300 °C, volume of gaseous products doesn't change and main four gases (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) are not detected by Gas-Chromatography. Therefore the product is moisture. For the second region, the generated gas volume increases dramatically at 300 °C <  $T_{\rm s}$  < 400 °C because the decomposition of the cellulose in the biomass can be occurred. For the third region, the volume increases slightly and approaches a constant value at 400 °C <  $T_{\rm s}$  < 800 °C because the gaseous products with low molecular weight are mainly generated by the decomposition of tar. The pyrolysis of the biomass has been modeled by using the mass of introduced biomass and the heating rate of the biomass layer. The generation rates of all components, which are char, gas and tar+steam, have two decomposition steps.

# 1. 緒言

日本は、国土の67%が森林に囲まれており、フィンラン ド、スウェーデンに次いで第3位の森林率を有している. このうち、用材として利用されるものは、20%に過ぎず、 残りの80%は輸入に頼っている<sup>1)</sup>.これを重量に直すと、 人工林からの林地残材400万t/year、天然林1,000万t/yearも の森林が未利用のままである.近年では、地球環境に優し いエネルギー資源の創出が急務となっており、とくに、未 利用森林による木質バイオマスエネルギー生成に高い関心 が寄せられている<sup>1-4)</sup>.木質バイオマスの特徴として、1)再 生可能であること、2)莫大な賦存量であること、3) 貯蔵 性・代替性に秀でていること、4) カーボンニュートラルで あることなどがあげられる<sup>2</sup>.

バイオマスのガス化によるエネルギー生成法は大きく2 つに分けられる<sup>2).3)</sup>.1つは,部分酸化による直接ガス化法 であり,CO+H<sub>2</sub>を主体とする低-中カロリー(5-27MJ/Nm<sup>3</sup>) の燃料ガス,合成ガスを製造する方法である.もう1つは,

\*山口大学大学院理工学研究科機械工学専攻教授 E-mail:tnishimu@yamaguchi-u.ac.jp \*\* / / / 講師 \*\*\* / / / 修士課程 〒755-8611山口県宇部市常盤台2-16-1 \*\*\*\*\*中外炉工業㈱ 〒541-0046大阪市中央区平野町3-6-1 間接ガス化法であり,外部加熱による熱分解によって,燃料ガス,合成ガスを製造する方法である.この方法は,直接ガス化法に比べて,1)ガス化率は劣るものの,生成ガス 中のCOとH2の割合が高い,2)小型でも発電効率が高い, 3)ガス化温度の制御が可能である,などの特徴をもつ.我 が国において,木質バイオマスを有効にエネルギー利用す る場合,バイオマスの集積量,エネルギー需要量に見合っ た小規模かつ高効率な設備の普及が不可欠であり<sup>4</sup>,間接ガ ス化法が適している<sup>33</sup>と思われる.

間接ガス化法を用いて、ガス化装置を設計する際に、その大きさを決定するのは、バイオマスの熱伝達、反応を含むバイオマスの分解過程である。特に分解過程は空間の影響を受けやすいため、スケールアップが難しい。これまでに実施されている木質バイオマスの熱分解中での反応解析について取り上げると、1) TG曲線、DTG曲線からバイオマスの熱分解速度を検討した研究<sup>5~80</sup>、2) ガス化で生じる主成分(生成ガス、タール、チャー)について熱分解速度を検討した研究<sup>121,13)</sup>、などがあげられる。その他に、触媒添加や水蒸気添加による熱分解促進などについて調査した研究も行われている。

について, M. Muller et. al<sup>5</sup>, D. Vamvuka et. al<sup>6</sup> は,
 100℃<*T*s<600℃~800℃(*T*s:設定温度)における熱分解
 実験を行い,熱分解速度のバイオマス種依存性,昇温速度

依存性, 粒径依存性(425µm以下)について調査している. その過程を並列5段反応(ヘミセルロース2段階+セルロ ース2段階+リグニン1段階)であると仮定し, 解析を行 っている.彼ら<sup>50</sup>によると,活性化エネルギーの値は,各 反応段階のみに依存し,バイオマス種,粒径には依存しな いことを報告している.さらに彼ら<sup>50</sup>は装置の昇温速度を 用いて解析を行っているが,それがバイオマス自身の昇温 速度と等しいと判断するのは難しいと考えられる.

2)について、上岡ほか4名<sup>10)</sup>は、セルロースの熱分解 実験を行い、生成した水分、タール分、ガス、チャーの温 度依存性について調査している.彼ら<sup>10)</sup>は、収率が各成分 量の一次反応で表され、ある温度以上では平衡になるとし た反応モデルを用いて定式化を行っている.さらに彼ら<sup>10)</sup>は、 水分、タール分、ガス、CO<sup>2</sup>、COの収率が提案した反応モ デルによって表現可能であることを示している.ただし、 彼らの研究では、セルロースの熱分解挙動について一つの 昇温速度についてしか検討されておらず、また、パイロッ トあるいはプラントスケールのガス速度の予測を行う場合、 バイオマス自身の昇温速度を知ることが重要と思われる.

3)について, C. A. Koufopanos et. al<sup>12)</sup>は,バイオマス の熱分解過程について,熱伝達,分解過程を分けて検討し ている.すなわち,直径が数mm程度のおがくずを用いて 分解過程を,直径2 cm・長さ10cmの円柱状の木片を用いて 熱伝達をそれぞれ検討している.彼ら<sup>12)</sup>の論文中には,熱収 支を考える上で重要なバイオマスの熱物性がすべて掲載さ れている.さらに,B. V. Babu et. al<sup>13)</sup>は,C. A. Koufopanos et. al<sup>12)</sup>が提案したモデルにチャーの減容の効果を取り入 れて,既往の実験との比較を行っている.ただし,C. A. Koufopanos et. al<sup>12)</sup>の物質収支モデルにおいて,反応速度 式の推定法,水分の蒸発の影響,昇温速度の効果などが十 分に考慮されているとは言い難い. 本研究では、バイオマスのガス化装置を設計する上で重 要となる分解過程に着目し、熱伝達の影響を考慮した反応 速度モデルを提案することを目的とした.具体的には、杉 のおがくずを用いて急速熱分解実験を行い、1)ガス発生と バイオマス層内温度との関係、2)バイオマス減容の様子、 3)各成分(ガス、タール、チャー)の物質収支を調べた. さらに、バイオマス層の昇温速度を用いて熱分解過程の反 応モデルの定式化を試みた.

#### 2. 実験

#### 2.1 装置

実験装置の概略図を図1に示す.この装置は,窒素ガス 供給部,試験炉,液体成分トラップ部,ガスサンプリング 部およびガス流量測定部から構成される.図2に電熱式円 筒炉(中外炉工業㈱製,内径53mm,高さ230mm)を示し た.この炉は,最大出力1.5kWx2台であり,炉壁の温度を 800℃まで設定可能である.図1中の液体成分トラップ部 では,100ccの三角フラスコにグラスウールおよびCaCLを 充填し,ここにタールと水分を吸着させた.トラップ部を 出たガスの一部を,三方バルブを介して,アルミ製のサン プリングバッグ(ジーエルサイエンス㈱製)と接続し,発 生ガスを充填した.三方バルブの他方には,湿式ガスメー ター(㈱シナガワ製,W-NK-2B)を設置した.

#### 2.2 実験方法

まず,試験炉内の空気を排出させるために一定流量の№ ガスで炉内を置換した.出口には酸素モニター(理研計器 ㈱製,GX-2001)を設置し,酸素濃度が1%以下になるま で№ ガスで置換した.置換後,№ ガスの供給を停止した. 次に試験炉のヒーターを起動させ,炉壁を設定温度(200℃ ~800℃)まで昇温させた.さらに,設定温度に到達してか ら約30分放置した.



図1 木質バイオマスの熱分解実験装置概略



次にステンレス製のかご(高さ40mm,幅15mm,奥行き 15mm) にバイオマスを約0.6g充填し, 試験炉にかごごと導 入し,所定の時間(約5分間),バイオマスのガス化を行っ た.この際、ステンレス製のかごはK型熱電対(岡崎製作 所㈱製, T35LC *φ*=1.0mm) によって支持し, バイオマス 層内の温度を計測した. バイオマス層の温度の時間変化を データロガー (NR1000, KEYENCE) を介してパソコンの メモリーに記録した.

入時の温度との差を、バイオマス投入から設定温度との差 が±0.5℃以下となるまでに経過した時間(Δ*t*|<sub>T5±05</sub>)で除し た値を用いた. すなわち, 昇温速度を次式のように定義し た.

 $\dot{T}_{\rm b} = \frac{T_{\rm s} - T_{\rm 0}}{\Delta t |_{T{\rm s}\pm0.5}}$ 

ここで、 $T_s$ : 設定温度 ( $\mathbb{C}$ )、 $T_b$ : バイオマス層の初期温 度(℃)である.

試験炉内で発生したガスは、トラップ部を通過し、ガス サンプリング部または流量測定部に導入させた. 生成ガス をサンプリングバッグに捕集した後、ガスクロマトグラフ (ジーエルサイエンス(株製, GC323)のインジェクターにマ イクロシリンジを用いて生成ガスを注入し、濃度測定を行



表1 実験条件

試料	木質バイオマス	(杉)		
	平均長径	$\mathbf{D}_{\mathrm{L}}$	(mm)	1.5
	平均短径	$D_{\rm S}$	(mm)	0.7
	投入量	$\mathbf{W}_0$	(g)	0.6
熱分解炉				
	設定温度	$T_{\rm S}$	(°C)	200 - 800
	熱分解時間	$\Delta t$	(s)	300

った. 生成ガスの主要成分であるH<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>の定 量測定を行った.充填カラム(内径2mm,長さ3m)と して、H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, COの測定にはモレキュラーシーブ (MS-5A) を、CO₂の測定にはポラパック (porapaQ) をそれぞ れ用いた.また、キャリアガスにはアルゴンを使用し、カ ラム温度は100℃に設定した.

発生ガスの流量は、高温になると熱分解反応が瞬時に完 了するため,通常の流量計測は困難である.本研究では, デジタルビデオカメラ(SONY㈱製, DCR-VX9000)を用 いて、ガスメータとタイマーとを同時に録画し、その後、 発生ガス流量を求めた.

ガス化前後でのバイオマスの重量は,電子天秤(METTLER TOLEDO(株製, PM600) を用いて計測した. 炉から取り出 したバイオマスは高温のため、空気中で燃焼する.この燃 焼を防ぐために、まず残渣を乾燥窒素雰囲気下の容器に素 早く移し常温まで冷却した. その後,水分吸着を防ぐため にデシケーターで24時間乾燥させ、バイオマスの重量を計 測した.

本実験には、バイオマス試料としておがくず (スギ)を 用いた.写真を図3に示す.ガス化の前処理として、バイ オマスは乾燥機 (ISUZU製, BNS-112S) によって110℃で 120分乾燥させたものを使用した.バイオマスの物性値お よび実験条件を表1に示す.

#### 実験結果および考察

#### 3.1 熱移動と発生ガス量との関係

各設定温度におけるバイオマス層温度(Tb)の測定結果及 び発生ガス流量 (G) の測定結果を図4に示す.200℃の場 合、バイオマスの温度は設定温度に到達するまでに約300秒 を要した.この条件ではガスはほとんど発生せず,最大で も, 0.061/minであった. 設定温度400℃では, バイオマス 層の温度が設定温度になるまでに、約200秒かかる.発生ガ ス流量は、30秒付近と100秒付近で極大値を持つことがわ かる. 図中の点線は、ガス発生量が最大となるときの温度 を読みとったものである. 片方の温度は約100℃で (水の沸 点),もう一方は約300℃(セルロースの熱分解が始まる温 度) であった. 設定温度が上がるにつれ, 設定温度に到達



図4 発生ガス流量およびバイオマス層温度の経時変化



図5 バイオマス層の昇温速度の設定温度依存性



図6 チャーの写真, 質量および体積の設定温度依存性

するまでの時間は短くなり、また、ガス流量の極大値は増加することがわかる.図5に昇温速度の設定温度依存性を示す.図より,設定温度400℃よりも低温側の低速昇温域と、400℃よりも高温側の高速昇温域とに分類できることが分かる.

#### 3.2 熱分解後のバイオマスの質量および体積

各熱分解温度におけるガス化後のバイオマス(残渣)の 写真,その時のバイオマス質量および見かけ体積を図6に 示す.200℃では、変色もなく、ガス化前のバイオマスと、 色、質量、体積すべてにおいてほとんど変化がない.250℃<  $T_s$ <300℃では部分的に炭化が進み、質量、体積ともにわず かに減少する.350℃< $T_s$ <400℃になると、すべてのバイ オマスが黒色となり、質量も体積も激減する.特に、 $T_s$ = 400℃において、質量はガス化前の約1/3まで減少し、体積 は約1/2まで減少することがわかる.400℃< $T_s$ <800℃では、 質量、体積ともに緩やかに減少することがわかる.

## 3.3 物質収支

発生したガス体積の温度依存性を図7に、ガスクロマト グラフによる成分分析結果を表2に示す.図7より、ガス 体積の変化は設定温度によって大きく3つに分類できるこ とが分かる.第1番目の領域は200℃ $\leq T_s \leq 300$ ℃であり、 発生ガスの体積は一定(=0.1ℓ)の領域である.この場合、 表2に示すように、いずれのガス成分も検出されなかった. よって、この領域では水分蒸発が支配的であると考えられ る.第2番目の領域は300℃ $\leq T_s \leq 400$ ℃であり、ガス体積が 急激に増加する領域である.また、第3番目の領域は400℃ $\leq T_s \leq 800$ ℃であり、ガス体積が緩やかに増加し一定体積に漸 近する領域である.第2、第3の領域について、各成分の 質量変化を見ることにより検討する.

発生ガスの質量 $W_{g}(g)$ は,発生ガス体積から水分蒸発体 積 ( $V_{\text{Steam}} = 0.1 \ell = 0.1 \times 10^{-3} \text{m}^{3}$ )を差し引いて,(2)式より求 めた.



ここで、P: 圧力 (=101.3kPa), V<sub>G</sub>: 発生ガス体積 (m<sup>3</sup>),



図7 発生したガス体積の設定温度依存性

24 10//		/1• (101/0)		
設定温度	成分			
$T_{\rm S}(^{\circ}{\rm C})$	H <sub>2</sub>	$CH_4$	СО	$CO_2$
200	0	0	0	0
250	0	0	0	0
300	0	0	0	0
350	3.5	0	21.3	75.1
400	2.9	0	18.8	78.3
450	5.5	4.4	20.7	69.4
500	10.9	10.2	7.6	71.3
550	20.2	10.2	22.0	47.5
600	22.0	10.9	17.2	49.9
650	23.9	15.0	23.1	38.0
700	24.4	16.1	23.3	36.2
750	24.0	19.4	18.6	38.0
800	24.4	17.3	21.9	36.4

表2 乾燥ガス測定結果 (vol%, ただしN₂を除く)

R:ガス定数(=8.314Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), T:室温(=300K) で あり, 平均分子量*M*<sub>w</sub>は次式で表される.

ここで、 $M_i$ :成分iの分子量、 $y_i$ :成分iのモル分率である. また、タールおよび水分の質量 $W_{T+S}(g)$ は、(4)式より求めた.

ここで、Wo:バイオマス投入重量 (g) である.

チャー,発生ガスおよびタール+水分の物質収支を図8 に示す.チャーについては、図6で示した通りである.タ ール+水分の量は、セルロースの熱分解温度付近(約300℃) から急激に増加し、一定となり、500℃を越えたあたりから 低下し始めた.一方、生成ガスの量は、200℃< $T_s$ <550℃ までの増加域と、 $T_s$ >550℃における増加域の2領域が存在 することが分かる.このことは、表2に示したガス成分か らも分かることであり、200℃< $T_s$ <550℃までは、CO<sub>2</sub>の 質量がほとんどであり、 $T_s$ >550℃になると、低分子である CO、CH<sub>4</sub>およびH<sub>2</sub>も発生し始める.この温度域からリグニ ンの熱分解反応が支配的になってくるものと考えられる.

# 3.4 反応モデルによる解析

A. Boroido<sup>14</sup> によれば,木質バイオマスのガス化は,図9 に従って進行することが提案されている.すなわち,第1 反応では,バイオマスがガス,タール1,チャー1に並列 反応によって生成され,第2反応では,生成されたタール 1がさらに熱分解を引き起こし,ガス2,チャー2へと逐 次反応によって生成されるとしたモデルである.上岡ほか 4名<sup>10</sup> は,セルロースの熱分解過程について(5)式のよう





図9 木質バイオマスの一般化された熱分解反応式

な反応モデルを提案した.

ここで, $k_{10}$ :成分iの頻度因子(s<sup>-1</sup>), $\Delta E_i$ :成分iの活性化 エネルギー, $W_i^*$ :成分iの平衡質量(g)である.本研究の 測定結果および(5)式によるフィッティング結果(点線) を図8に示す.なお,図中の実線は後述の本研究によるフ ィッティング結果である.また,頻度因子,活性化エネル ギーを表3に示す.これより,いずれの成分においても質 量の変化について表現できなかった.これは,上岡ほか4 名<sup>10</sup>のモデルが1)セルロースのみの熱分解であること, 2)ガス空間の温度が500℃以下であり,第2反応が無視で きる範囲であること,によると思われる.

我々は,各成分の変化速度が,バイオマス投入質量,昇 温速度に比例するとしたモデルを提案する.

$$\frac{dW_{i}}{dt} = \begin{cases} -k_{i0}' \exp\left(-\frac{\Delta E_{i}'}{RT_{s}}\right) W_{0} \dot{T}_{b} \text{ (Char)} \\ k_{i0}' \exp\left(-\frac{\Delta E_{i}'}{RT_{s}}\right) W_{0} \dot{T}_{b} \text{ (Tar + Steam, Gas)} \end{cases} \cdots (6)$$

ここで、 $k_{io}$ ':本モデルにおける成分iの頻度因子 (s<sup>-1</sup>)、  $\Delta E_i$ ':本モデルにおける成分iの活性化エネルギーである. 左辺は、反応時間 (dt=300s) における質量の変化を表し ている.右辺中の昇温速度 $\dot{T}_b$ は、式 (1)を用いて求めた. また、チャーの初期質量はバイオマスの投入質量に等しい

表3 上岡ほか4名の熱分解モデル<sup>10)</sup>によるパラメータ

成分	$k_{i0} (s^{-1})$	$\Delta E_{\rm i}({\rm kJ/mol})$	$W_{i}^{*}(g)$
Tar + steam	0.0052	0.97	0.0056
Gas	11.6	42.1	0.454

と仮定した.図10に各成分の生成速度の温度依存性を示し た.縦軸の値は、生成速度を投入質量および昇温速度で除 したものを示す.図より、チャーの場合、2つの温度域が 存在することが分かる.このことは、熱分解過程が多段で 進行するという既往の研究5~8)と定性的に一致する. ター ル+水の場合,約400℃で最大となることが分かった.これ は、セルロースの熱分解によってこの付近の温度でタール が大量に発生し、それ以上の温度になると、図9に示した 第2反応が支配的となり、タールの生成量が減少するため と思われる.また、生成ガスの場合、温度が高くなるにつ れて一旦増加するものの, 高温になるにつれて低分子化が 進むため、単位昇温速度、単位投入バイオマス量あたりの 生成速度は減少することがわかる.なお、4つの主要なガ ス成分については, i)気相反応は, 図9で示すほど単純 では無いこと、ii) 今回はガスクロマトグラフのデータの みであり、それから気相側での反応を推定するのは無理が あることなどの判断から定式化は行わなかった.

これらを曲線近似して,図8中に示した.フィッティン グパラメータを表4に示した.図8より,チャー,タール+ 水,ガスのいずれの成分についても本反応モデルによって



図10 各成分の生成速度のアレニウスプロット

₹4	本研究の熱分解モデルによ	よる	るパ	ラ	メ・	ータ	
----	--------------	----	----	---	----	----	--

成分	(温度範囲, ℃)	$k_{i0}$ (K <sup>-1</sup> )	$\Delta E_{i}^{'}$ (kJ/mol)
Char	$250 < T_S < 386$	4.45	44.5
Char	$386 < T_S < 800$	1.24 x10 <sup>-5</sup>	-25.6
Tar + steam	$250 < T_S < 370$	0.0124	18.1
Tar + steam	370 <t<sub>s&lt; 800</t<sub>	1.66 x 10 <sup>-7</sup>	-41.9
Gas	350 <t<sub>s&lt; 394</t<sub>	0.3843	33.3
Gas	394 <t<sub>s&lt;800</t<sub>	1.57 x 10 <sup>-5</sup>	-22.8

表現可能であることが明らかとなった.

#### 4. 結言

耒

数mmクラスの木質バイオマスを用いて,急速熱分解過 程で生じる移動現象について実験的に検討を行い,以下の 結論が得られた.

- 熱分解過程は設定温度によって大きく変化し、i)水 分蒸発域、ii)セルロースの熱分解領域、iii)発生し たタールの2次分解領域、のおよそ3つの領域に分類 できることがわかった。
- バイオマス層の昇温速度を考慮した物質収支モデルによって、チャー、タール、発生ガスのいずれの成分も、
   2段階で反応が進行することが明らかとなった。

実際は,熱分解速度がガス化空間の影響を受けるため, ガス化装置のスケールアップが難しい.本研究は,ガス化 空間の影響をバイオマス層の昇温速度に取り込むことによ って,汎用性のある熱分解モデルを提案した.今後は,充 填密度や粒子径依存性などを考慮したモデルの修正が望ま れる.

本研究を遂行するに当たり, 宇部興産㈱宇部研究所 合成 化学部門 ケミカル開発部 横田守久氏の助言を頂いた. ここに記して謝意を表す.

## 参考文献

- 1) 横山伸也;わが国における木質バイオマスの現状と課題,エ ネルギー・資源, 26-3 (2005), 169-172.
- 2) 鈴木勉;木質バイオマスの液化とガス化-プロセス開発の現状,木材学会誌,48-4 (2002),217-224.
- 3) 笹内謙一;バイオマスの熱分解ガス化による発電利用,日本 燃焼学会誌,47-139 (2005),31-39.
- (4) 渡辺達也;木質バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化 発電システムの開発,太陽エネルギー,29-1 (2003),14-17.
- 5) M. Muller-Hagedornm H. Bockhorn, L. Krebs and U. Muller; A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species, J. Anal. Appl. Pyrolysis, 68-69 (2003), 231-249.
- 6) D. Vamvuka, E. Kakras, E. Kastanaki and P. Goammelis ; Pyrolysis characteristics and kinetics of biomass residuals mixtures with lignite, Fuel, 82 (2003), 1949-1960.

- 7) T. Willner and G. Brunner, Pyrolysis kinetics of wood and wood components, Chem. Eng. Sci., 28-10 (2005), 1212-1225.
- 8) C. J. Gomez, J. J. Manya, E. Velo and L. Puigjaner, Further Applications of a revisited summative model for kinetics of biomass pyrolysis, Ind. Eng. Chem. Res, 43 (2004), 901-906.
- 9) L. Fagbemi, L. Khezami and R. Capart ; Pyrolysis products from different biomass : application to the thermal cracking of tar, Applied Energy, 69 (2001), 293-306.
- 10) 上岡健太,松下洋介,山本剛,青木秀之,三浦隆利;セルロ ースをモデル物質としたバイオマス熱分解挙動の解明,日本 機械学会論文集(B編),70-694 (2004),1598-1603.
- D. Ferdous, A. K. Dalai, S. K. Bej and R. W. Thring, Pyrolysis of lignins : experimental and kinetics studies, Energy & Fuels, 16 (2002), 1405-1412.
- 12) C. A. Koufopanos, N. Papayannakos, G. Maschio and A. Lucchesi ; Modelling of the Pyrolysis of Biomass particles. Studies on kinetics, thermal and heat transfer effects, Can. J. Chem. Eng., 69 (1991), 907-915.
- B. V. Babu and A. S. Chaurasia ; Heat transfer and kinetics in the pyrolysis of shrinking biomass particles, Chem. Eng. Sci., 59 (2004), 1999-2012.
- 14) A. Broid ; Kinetics of solid phase cellulose pyrolysis, (1976),
   19-35, New York : Academic press.

	公募	大阪大学大学院工学研究科 教授公募		
1.	公募人員	教授1名		
2.	所属	電気電子情報工学専攻 電気電子システム工学部門 システム・制御工学講座		
3.	專門分野	電力系統工学,エネルギー学,制御工学,電気機器工学		
		(低環境負荷化に配慮した電力・エネルギーシステム,分散型電源,電機駆動系の高効率化・高性能		
		化などの分野)		
4.	担当講義	学部および大学院における上記専門分野に関連する講義		
5.	応募資格	(1)博士の学位を有すること.(2)当該分野における研究実績があり,学部・大学院において上		
)		記教育科目を担当できること.(3)当該分野における研究指導を担当できること.		
6.	着任時期	平成20年4月1日		
7.	公募締切	平成19年9月1日(土)消印有効		
		提出書類などの詳細については,大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻		
		http://www.eei.eng.osaka-u.ac.jp/contents/application.html のページをご覧ください.		