

木質複合成成型燃料に関する研究*

—着火温度に対する効果—

中 地 章**

松 原 睦 哉**

本 間 恒 行**

(昭和60年9月30日受理)

Studies on Wood Blended Solid Fuels

—Effect on the Ignition Temperature of Solid Fuels—

by Akira NAKACHI, Mutsuya MATSUBARA
and Tsuneyuki HONMA

The characteristic properties of the combustion of wood blended with coal or oil coke fuels has been studied. Pulverized coal or oil coke and powdered woody materials (larch) were used as the raw materials. These solid fuels were briquetted under pressure of 1 t/cm^2 at room temperature, by using a molding press. The measurement of the combustion pattern and the ignition temperatures of these solid fuels was carried out using the differential thermal analysis method.

The ignition temperature of the sample from coal or oil coke alone was 345°C for Sunagawa coal and 385°C for oil coke, while for the larch bark and the heart wood, the ignition temperatures were 260°C and 305°C respectively.

When the content of woody materials in the blended solid fuels was greater than 20 wt.% for Sunagawa coal-wood fuel, 20 wt.% for oil coke-bark fuel and 25 wt.% for oil coke-heart wood fuel, then the ignition temperature of Sunagawa coal or oil coke fell to the same temperature of larch bark or heart wood. It was confirmed that the mild oxidation of coal and the amount of volatile matter from coals significantly affected the combustion behaviour of wood blended coal fuels.

1. ま え が き

今日、日本のエネルギー源の大部分は石油に依存し、そのほぼ全量を輸入しているが、将来へ向けての石油事情を考えると、石油代替エネルギーの開発は重要な課題である。現在、固体燃料である石炭が見直されつつあるが、その燃焼特性は発熱量の面では優れているが、灰

* 日本化学会北海道支部 1985年冬季研究発表会にて発表 (1985年2月)

** 北見工業大学環境工学科

分が多い、着火性が悪い、燃焼量のコントロールが困難である、煤煙、 NO_x 、 SO_x の発生量が多いなどの欠点も指摘されている。また、他の固体燃料に木材、コークスなどがある。木材は着火性が良く煤煙の少ないクリーンなエネルギーであるが発熱量が小さいという欠点がある。コークスは発熱量は大きい、着火しにくく、 NO_x 、 SO_x の発生量の多い燃料である。このように石炭、木材、コークスを単独で用いた場合、種々の欠点が指摘されているが、最近これらの燃料を混合することによって、その欠点を互いに補い優れた燃焼特性を有する複合燃料の開発が進められている¹⁾。そのため、二種以上の燃料を混合してその欠点を補い、着火性、低煤煙性などの面で必要に応じた燃焼特性を有する複合燃料を得るための基礎的資料とその燃焼特性の予測が必要となる。本研究では、複合燃料の原料として代表的道内炭である砂川炭、石油精製の副産物でその有効利用が望まれるオイルコークス、さらに木質廃材として広く分布するカラ松材の心材あるいは皮部（バーク）を使用し、これらの原料を用いた複合成型燃料を試作し、その燃焼特性を示差熱法を用いて検討したので以下に報告する。

2. 実 験

2.1 試 料

複合成型燃料の試作は以下に示すとおりである。砂川炭、オイルコークスおよび木質物（カラ松の心材あるいは皮部）をそれぞれ60 mesh以下（0.25 mm以下）に粉碎し、その砂川炭またはオイルコークスに木質物を種々の割合で配合したものを加圧プレス（圧力1 t/cm²）により円盤状（直径約8 mm、厚さ約1.6 mm、重量約0.1 g）に成型した。また、他の石炭試料も同様の方法で成型した。これら単味粉状試料の工業分析値および元素分析値をそれぞれTable 1, 2に示す。

2.2 燃 焼 実 験

固体燃料の着火温度測定法としては、試料を一定昇温速度下に加熱して試料の急激な温度

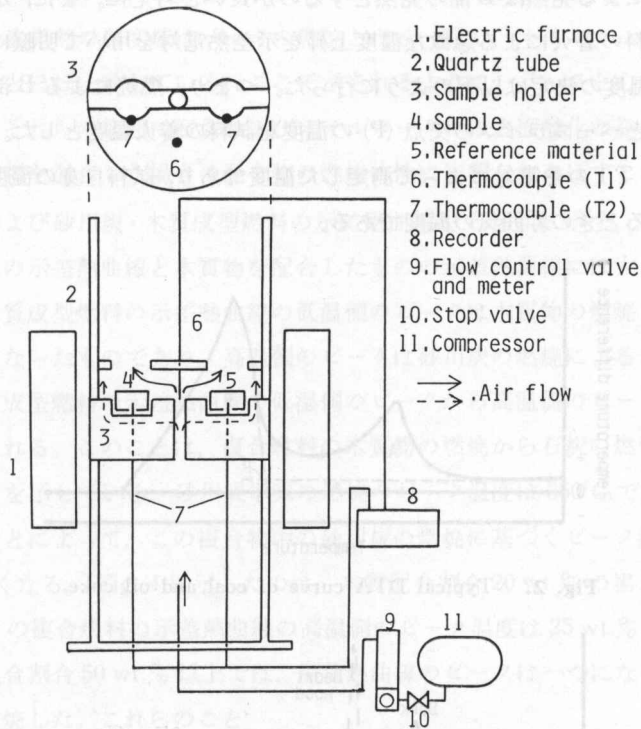
Table 1. Proximate analysis of samples (wt.%, wet base)

Sample	Moisture	Volatile Matter	Fixed Carbon	Ash	
Larch	Heart wood	11.5	75.9	12.2	0.4
	Bark	11.8	64.9	21.6	1.7
Coal	Tenpoku	16.0	37.0	38.0	9.0
	Horonai	2.3	46.0	45.2	6.5
	Sunagawa	1.9	38.8	47.0	12.3
	Yubari	0.8	35.7	57.5	6.0
	Big Ben	1.5	28.6	61.6	8.3
	Australian	1.1	23.0	67.3	8.6
	Indian Ridge	1.3	22.6	67.7	8.4
Oil coke	1.4	11.7	86.3	0.6	

Table 2. Ultimate analysis of samples (wt.%, dry ash free base)

Sample	C	H	N	S ¹⁾	O ²⁾
Larch Heart wood	50.8	5.8	—	—	43.3
Bark	53.9	5.4	0.5	—	40.2
Sunagawa coal	81.8	5.9	2.5	0.7	9.1
Oil coke	90.1	3.8	2.8	1.5	1.8

1) Combustible Sulfur

2) $O = 100 - (C + H + N + S)$ **Fig. 1.** Apparatus for combustion test.

上昇点を求める方法、試料の急激な重量減少点を求める方法などの測定法が報告されているが、ここでは示差熱法によって着火温度測定²⁾を行った。本実験では Fig. 1 に示す着火温度測定装置を使用した。Fig. 1 で燃焼管は内径 29 mm の石英管を用い、燃焼用空気は燃焼管下部から送入され試料容器の軟鉄製ブロックの中央の孔から試料と基準物質の二方向に流れるようにした。また、試料温度測定用熱電対 (T1) は石英管上部から送入し試料容器上の凹部に備え付けた。示差熱測定用熱電対 (T2) は石英管下部から送入し、試料容器の試料用の凹部の端に位置するように配置した。なお、これらの熱電対はクロメル・アルメルを使用した。基準物質として試料とほぼ同様の形状の磁性物質 (アルミナ) を使用した。燃焼条件は空気量 3 l/min、昇温速度 17°C/min で行った。

2.3 着火温度測定

以上に述べた装置および方法で得られた示差熱曲線は、石炭およびオイルコークスの場合にはおおむね Fig. 2 のように記録される。図中 A 部の小さな発熱は試料が石炭およびオイルコークスの場合だけに見られるものであるが、A 部の発熱直後試料を取出しても試料の重量減少は認められなかった。また A 部の発熱に比較して高温側の B 部の発熱は明らかに大きい。さらに過去の報告でも低温において酸素化合物が形成される^{3),4)}ということが知られている。これらのことから A 部の発熱は石炭およびオイルコークスの弱い表面酸化²⁾によるものと考えられ、試料の燃焼による発熱は B 部の発熱とするのが良いと考えた。また、示差熱法による着火温度の測定は試料の着火による急激な温度上昇を示差熱電対を用いて明瞭に検出する方法であり、試料の着火温度の決定は以下のように行った。つまり、燃焼による B 部の発熱ピークの最大傾斜の延長線とベースラインの交点 (P) の温度を試料の着火温度とした。ただし、この着火温度は Fig. 1 の T1 の熱電対によって測定した温度であり、試料自身の温度ではなく、正確には試料が着火するときの雰囲気温度である。

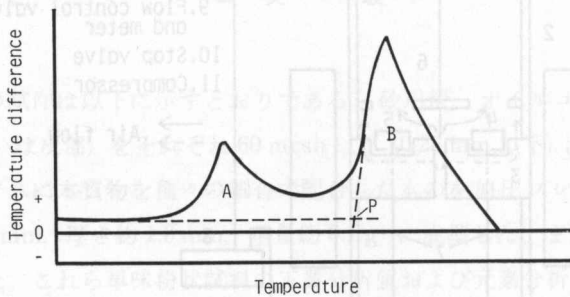


Fig. 2. Typical DTA curve of coal and oil coke.

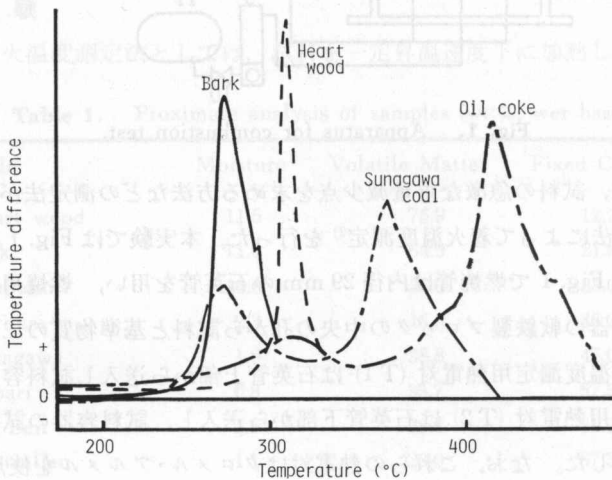


Fig. 3. DTA curves of woody materials, Sunagawa coal and oil coke.

3. 結果と考察

3.1 木質配合割合と示差熱曲線

本実験ではカラ松の心材部と皮部（以後バークと記す）を区別してそれぞれ別個に木質配合物として混合し、使用した。Fig. 3 に単味成型試料の示差熱曲線を示す。砂川炭の燃焼の温度範囲は約 340～410°C であるがオイルコークスはさらに高く約 380～460°C である。木質物の燃焼の温度範囲は砂川炭およびオイルコークスよりかなり低くなっているが、バークの燃焼の温度範囲は約 260～300°C、心材の場合、約 300～330°C と異なる範囲で燃焼している。また、砂川炭の表面酸化による発熱の温度域はバークの燃焼とほぼ一致し、オイルコークスの表面酸化の発熱は心材の燃焼とほぼ一致している。ここで示されるように、バークと心材は異なる温度範囲で燃焼しており、それらの範囲に石炭およびオイルコークスの表面酸化の発熱が存在しているため、これらの試料を混合した場合の混合物の燃焼特性に影響をおよぼすことが予想される。

砂川炭単味および砂川炭・木質成型燃料の示差熱曲線を Fig. 4 に示す。この図で分かるように、砂川炭単味の示差熱曲線と木質物を配合したものの示差熱曲線には大きな違いが認められる。砂川炭・木質成型燃料の示差熱曲線の低温側のピークは木質物の燃焼と砂川炭の表面酸化による発熱が重なったものであり、高温側のピークは砂川炭の燃焼によるものである。さらに、砂川炭・木質成型燃料の示差熱曲線の低温側のピークから高温側のピークへ発熱が継続しているのが認められる。このことは、複合燃料の木質物の燃焼から石炭の燃焼へ継続して燃焼が進んでいることを示している。砂川炭単味の燃焼のピーク温度は 360°C である。しかし、木質物を配合することによって、この複合物中の砂川炭の燃焼に基づくピーク温度は砂川炭単味より 30～40°C 低くなる。Fig. 4 に示したのは、木質配合割合 20 wt.% の場合であるが、木質配合割合 30 wt.% の複合燃料の示差熱曲線の高温側のピーク温度は 25 wt.% のときより低温であった。木質配合割合 50 wt.% 以上では、示差熱曲線のピークは一つになり、木質物と砂川炭がほぼ同時に燃焼した。これらのことから、複合成型燃料の燃焼過程は以下のように考えられる。まず木質物の燃焼と石炭の表面酸化がほぼ同時に起り、複合物が急激に発熱する。その発熱によって石炭の脱揮発が低温から促進され燃焼が石炭の揮発分に継続されて行き、最後に石炭の固定炭素分が主に燃焼すると考えられる。結果的にみれば複合物の石炭は単味の時より低温で燃焼する。しかし、木質配合割合 10 wt.% では複合物の

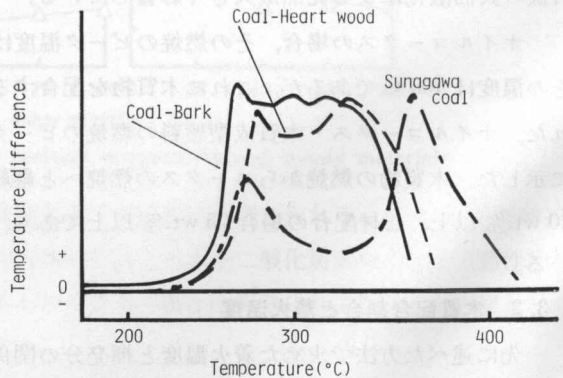


Fig. 4. DTA curves of Sunagawa coal and wood blended coal (woody materials 20 wt.%).

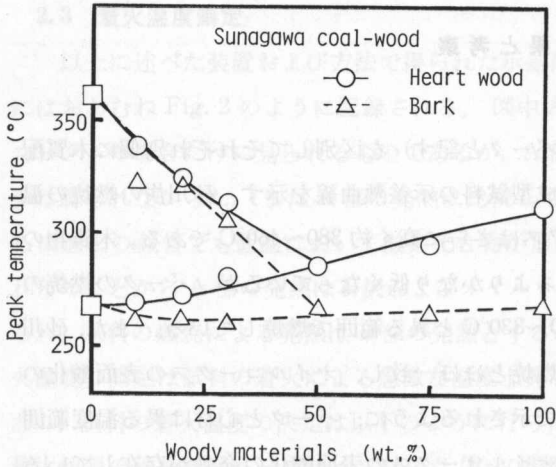


Fig. 5. Relation between peak temperature and content of woody materials.

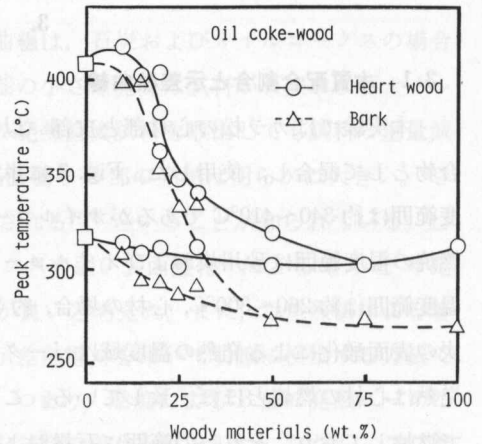


Fig. 6. Relation between peak temperature and content of woody materials.

木質物から石炭への燃焼は継続されず、Fig. 4 に示した複合物のような示差熱曲線は得られなかった。

つぎに、複合燃料の木質物の配合割合と示差熱曲線のピーク温度の関係を Fig. 5 に示す。これは、Fig. 4 に示したような示差熱曲線の高温側および低温側のピーク温度を木質物の配合割合に対して示したものである。木質物の配合割合の増加とともに複合物の高温側のピーク温度は低くなっている。しかし、木質物の配合割合と複合物の低温側のピーク温度の関係については、バーク配合の場合、ピーク温度にはほとんど変化は認められないが、心材配合の場合、低温側のピーク温度は木質物の配合割合の増加とともに上昇している。心材単味の燃焼のピーク温度は、 310°C であるが、複合燃料（心材配合割合 20 wt.%）の低温側のピーク温度は 275°C と心材単味より低い。このことは、心材単味の燃焼のピーク温度に対し、砂川炭単味の表面酸化発熱のピーク温度が 270°C と低いことに起因していると考えられる。すなわち複合燃料の燃焼に石炭の表面酸化による発熱が大きく影響している。

オイルコークスの場合、その燃焼のピーク温度は砂川炭のピーク温度よりはるかに高く、その温度は 405°C であるが、これに木質物を配合することにより砂川炭と同様の傾向が認められた。オイルコークス・木質成型燃料の燃焼のピーク温度と木質物の配合割合の関係を Fig. 6 に示した。木質物の燃焼からコークスの燃焼へと継続的燃焼が現れるのはバーク配合の場合 20 wt.% 以上、心材配合の場合 25 wt.% 以上であり、石炭の場合より配合割合は大きくなっている。

3.2 木質配合割合と着火温度

先に述べた方法で求めた着火温度と揮発分の関係を Fig. 7 に示した。石炭の場合その関係にはおおそ直線関係が得られ、揮発分の増加とともに着火温度が低くなっている。しかし、木質物とオイルコークスは石炭の場合の直線関係には乗らない。このことは木質物とコー

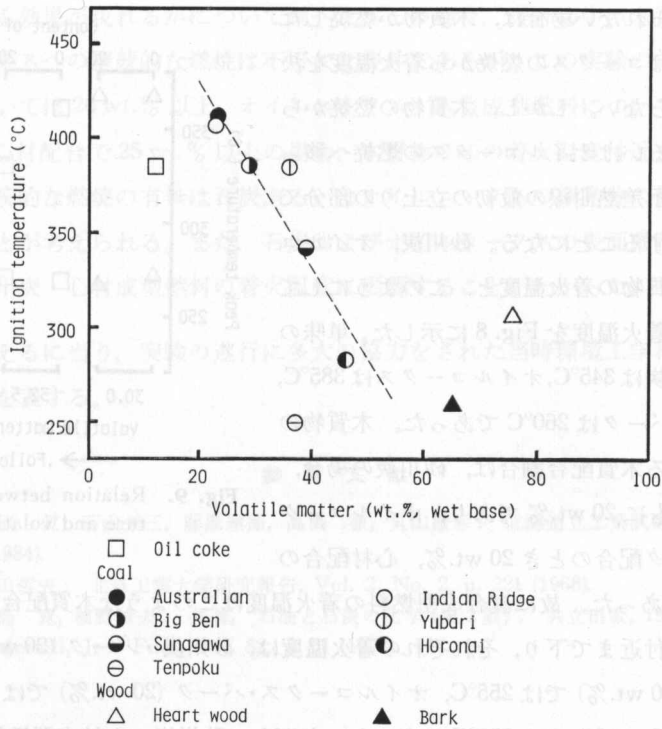


Fig. 7. Relation between ignition temperature and volatile matter.

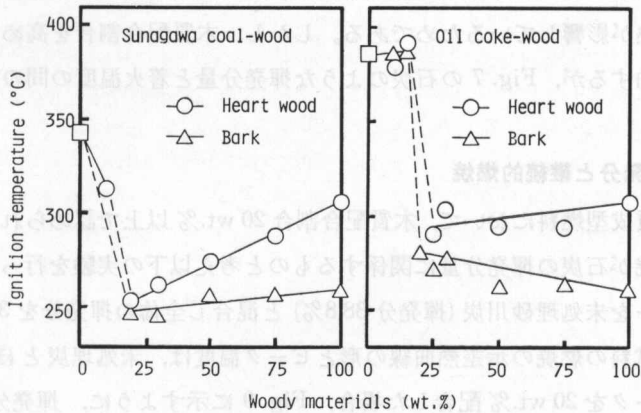


Fig. 8. Relation between ignition temperature and woody materials.

クスの揮発分の成分組成が石炭のそれとは大きく異なるためと考えられる。とくに木質物の場合、揮発分中に多くの酸素を含んでおり石炭のそれより水や二酸化炭素のような不燃性物質を多く含んでいるためであり、また、オイルコークスの場合は揮発分の成分組成が石炭より可燃性物質を多く含んでいるためと考えられる。

複合物の着火温度を示差熱曲線から決定する場合、木質物の燃焼から石炭あるいはコークスの燃焼に継続的に燃焼が進んでいるか否かに、注目する必要がある。つまり木質物からの継

続的燃焼が認められない場合は、木質物が燃焼した後の石炭あるいはコークスの燃焼から着火温度を決定しなければならない。しかし、木質物の燃焼から継続的に石炭あるいはオイルコークスの燃焼へ移っていく場合は、示差熱曲線の最初の立上りの部分で着火温度を決定することになる。砂川炭、オイルコークスおよび木質物の着火温度と、このようにして求めた複合物の着火温度を Fig. 8 に示した。単味の着火温度は砂川炭は 345°C、オイルコークスは 385°C、心材は 305°C、バークは 260°C であった。木質物の効果が現れてくる木質配合割合は、砂川炭の場合、心材、バークともに 20 wt.% であり、オイルコークスの場合、バーク配合のとき 20 wt.%、心材配合のとき 25 wt.% であった。故に複成型燃料の着火温度はこのような木質配合割合のとき木質単味の着火温度付近まで下り、それぞれの着火温度は、砂川炭・バーク (20 wt.%) では 250°C、砂川炭・心材 (20 wt.%) では 255°C、オイルコークス・バーク (20 wt.%) では 280°C、オイルコークス・心材 (25 wt.%) では 290°C であった。ただし、砂川炭・心材成型燃料の場合、木質配合割合 20~75 wt.% の間では木質材単味より着火温度が低くなっているが、これは砂川炭の表面酸化による発熱が影響しているためである。しかし、木質配合割合を高めると複合物の全体の揮発分量も増加するが、Fig. 7 の石炭のような揮発分量と着火温度の間の直線関係は認められない。

3.3 石炭の揮発分と継続的燃焼

砂川炭・木質成型燃料において、木質配合割合 20 wt.% 以上で認められる木質物から石炭への継続的な燃焼が石炭の揮発分量に関係するものと考え以下の実験を行った。900°C で 15 分間乾留したチャーを未処理砂川炭 (揮発分 38.8%) と混合し全体の揮発分を 30, 32.5, 35% に調節した。これら試料の燃焼の示差熱曲線の形とピーク温度は、未処理炭とほぼ同様であったが、これらにバークを 20 wt.% 配合した場合、Fig. 9 に示すように、揮発分 35% では未処理炭と同様に継続的燃焼が認められた。しかし、揮発分 32.5% では継続的燃焼は認められず、30% においては木質物配合による効果はまったく認められなかった。このことから、石炭・木質成型燃料では木質物から石炭への継続的な燃焼は石炭の揮発分量に影響されると考えられる。

4. ま と め

本実験では、砂川炭およびオイルコークスにカラ松材をどの程度配合することによって、

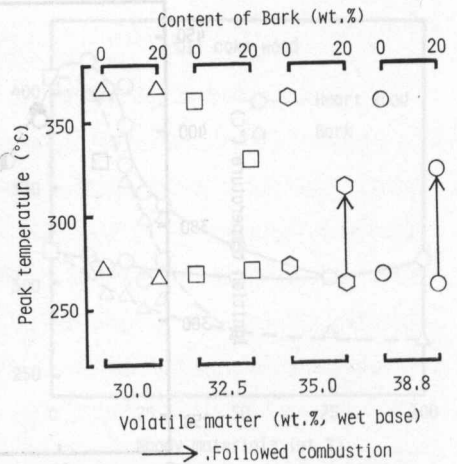


Fig. 9. Relation between peak temperature and volatile matter of coal.

着火温度を下げる効果が現れるかについて調べた。この場合、複合物中の木質物から石炭あるいはオイルコークスへの継続的な燃焼は不可欠な要件であるが、この実験の結果、砂川炭・木質成型燃料については20 wt.%以上、オイルコークス・木質成型燃料についてはバーク配合で20 wt.%以上、心材配合で25 wt.%以上の場合、木質物単味の着火温度付近まで下ることがわかった。この継続的な燃焼の有無は石炭あるいはオイルコークスの揮発分の量や組成が影響しているということが考えられる。また、石炭およびオイルコークスの表面酸化の発熱も複合成型燃料、特に砂川炭・心材成型燃料の着火温度に影響することがわかった。

本報告を終えるに当たり、実験の遂行に多大の協力をされた当時環境工学科学生近藤俊浩君に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 森本茂樹, 竹道 覚, 石山栄三, 藤原達郎, 高橋 徹, 丸山敏彦: 北海道立工業試験場報告, No. 283, p. 295 (1984).
- 2) 本間恒行, 山田哲夫: 北見工業大学研究報告, Vol. 2, No. 2, p. 221 (1968).
- 3) 吉田高年, 塚島 寛, 植野禎夫: 共著, “石油と石炭の化学(第2版)”. 共立出版, 1984, 214 p.
- 4) LaVaun S. Merrill, Jr: Fuel, Vol. 52, p. 61 (1973).