

マレーシア国 コークス代替ヤシガラ炭製造設備の高効率化  
プラント改善診断コンサルティング調査報告書  
(概要)

2010 年3月

社団法人 日本プラント協会

委託先 : スチールプラントック株式会社

**KEIRIN**



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

## 1. 概要

ヤシ油は食品や洗剤原料、およびバイオディーゼル油原料として利用され、主生産国であるマレーシアとインドネシアでは年々生産量が増大している。粗ヤシ油の生産量は両国とも約 1,700 万トン／年に達し、ヤシ油産業から発生する大量のバイオマス廃棄物の有効利用が課題である。廃棄物の中でも先行して有効利用されているヤシガラの発生量は両国それぞれ約 350-400 万トン／年と見込まれ、この一部は一般炭代わりにボイラで使用されるか、炭化して活性炭原料のヤシガラ炭として販売されているが、廃棄される割合も大きい。ヤシガラ炭の性状は鉄鋼業で使用される冶金用コークスに類似していて代替使用可能であり、当社はこの可能性を調査した。その結果、現状の活性炭用ヤシガラ炭の生産は小規模で品質も安定せず、特に日本の鉄鋼業向けに大量供給するには問題があることが判明した。そこでプラント協会から公募された「途上国プラント改善診断調査事業」にヤシガラ炭製造設備の近代化・大規模化・省エネルギー化を提案して採択され、本調査を実施した。

## 2. アブラヤシとヤシ油産業廃棄物

アブラヤシ (Oil Palm) はアフリカ原産であり、東南アジアでは栽培樹種である。植付後 3 年目から収穫可能で、25 年経つと樹勢が落ちるため伐採して植え替える。FFB (Fresh Fruit Bunches) と称する果実は葉の付け根に形成され、葉を落として収穫する。FFB は一抱え 20 kg 程度あり、鶏卵より若干小さい黄色い実 (Fruit) が数十個付いている。実の外側は油分を含んだ柔らかい部分で、これをシェル (内部の硬い部分) から分離して絞ると CPO (Crude Palm Oil : 粗ヤシ油) が回収される。絞るかすであるファイバーは繊維質で燃料となる。シェル内部には核 (Kernel) があり、これもさらに別種の油の原料となる。シェル (ヤシガラ、PKS : Palm Kernel Shell) は硬くて水分含有量は低く、このままでも石炭代替の燃料になるが、乾留してヤシガラ炭 (PKS Charcoal) とすると活性炭の原料になる。写真 1. にアブラヤシの木、写真 2. にヤシ油工場と FFB、写真 3. に果実とヤシガラを示す。



写真 1. アブラヤシの木



写真2. ヤシ油工場とFFB



写真3. 果実とヤシガラ

### 3. ヤシガラ炭の鉄鋼業での利用

ヤシガラ炭は冶金用コークスと代替可能であるが粒度と圧壊強度の面で、大型高炉での使用には無理がある。当社はこれに代えてスクラップを溶解製錬する電炉（製鋼用アーク炉）での使用を検討し、日本およびインドネシアの電炉企業の協力を得て使用試験を実施した。コークスは、電炉では高炉と異なり、還元材でなく酸化抑制材、熱源、加炭材として使用される。使用量は製鋼量1トン当たり 20-30 kg であり、使用方法は、60 % 程度をスクラップに混入して炉に装入し、40 % 程度を酸素と同時に溶鋼と熔融スラグ中に吹き込むのが一般的である。写真4. に、使用したヤシガラ炭と電炉用コークスの写真を、また表1. にその物性値の比較を示す。ヤシガラ炭はコークスに比べて硫黄分と灰分が少なく、発熱量が高いためコークスよりも良質な電炉用炭材である。試験操業前には揮発分が高いため加炭材効果が懸念されたが、特に支障は無く、揮発分は熱源として作用して電炉の熱効率を向上した。ヤシガラ炭の使用は地球温暖化ガス排出量削減となるため、東南アジアでは CDM の手段として考えることができる。地球温暖化ガス排出量削減の面では日本の鉄鋼業でも注目されている。



写真4 ヤシガラ炭(左) とコークス(右)

表1 ヤシガラ炭とコークスの物性値の比較

Items	Unit	PKS charcoal			Coke	
		Large 3.3 - 8.0 mm	Medium 2.0 - 3.3 mm	Fine 0.1 - 2.0 mm	Lump 1.0 - 15 mm	Breeze 0 - 1.0 mm
Moisture	wt %	7.5	5.9	5.2	13	0.7
Ash	dry wt %	3.2	3.6	13.3	12.1	11.7
Volatile	dry wt %	8.5	8.8	10.9	1.1	1.1
DHV	kcal/kg	7,840	—	6,940	6,650	6,950
(Dried Heating Value)	kJ/kg	32,810	—	29,070	27,820	29,080
HHV	wet kcal/kg	7,250	—	6,580	5,780	6,900
(High Heating Value)	wet kJ/kg	30,350	—	27,560	24,210	28,880
LHV	wet kcal/kg	7,100	—	6,450	5,700	6,880
(Low Heating Value)	wet kJ/kg	29,710	—	27,000	23,880	28,790
C	dry wt %	89.1	—	—	83	85.8
H	dry wt %	2.2	—	2	< 0.1	0.3
N	dry wt %	0.6	—	—	0.5	0.6
S	dry wt %	< 0.1	—	—	0.6	0.5
Cl	dry wt %	< 0.1	—	—	< 0.1	< 0.1
Fe	dry wt %	0.09	—	2.56	0.14	0.33
Ca	dry wt %	0.31	—	0.94	0.21	0.38
Si	dry wt %	0.85	—	2.37	3.49	2.78
Al	dry wt %	0.03	—	0.49	2.34	1.57
Na	dry wt %	< 0.01	—	—	—	0.04
K	dry wt %	0.18	—	—	—	0.08
P	dry wt %	0.02	—	—	0.03	0.04
Mg	dry wt %	0.04	—	0.1	0.04	0.14

#### 4. ヤシガラ炭製造プロセス(炭化設備)

ヤシガラ炭はマレーシアでは数社により活性炭原料として小規模に製造されているが、インドネシアでは製造されず、ヤシガラのまま外販されている。当社は冶金用コークス代替として供給可能な企業を調査して、ジョホール州の EC 社と サラワク州の BC 社を対象企業として選定し、比較した。以下に両社の設備と特徴を示す。

(1) EC 社

炉形式 : 固定床バッチ炉 (図1.)

場所 : マレーシア・ジョホール州

生産能力 : 9,000 ton/y

- 特徴
- ・ 原始的な野焼炉で、3日ほどかけてヤシガラ炭となる。
  - ・ ヤシガラ炭品位は良好(表1. 数値)。
  - ・ 未燃ガスや煤塵の発生が著しく、環境上問題。
  - ・ ジョホール州はヤシガラの需給がタイトで増産余地が少ない。
  - ・ プロセスは労働集約的であり、規模拡大が困難。

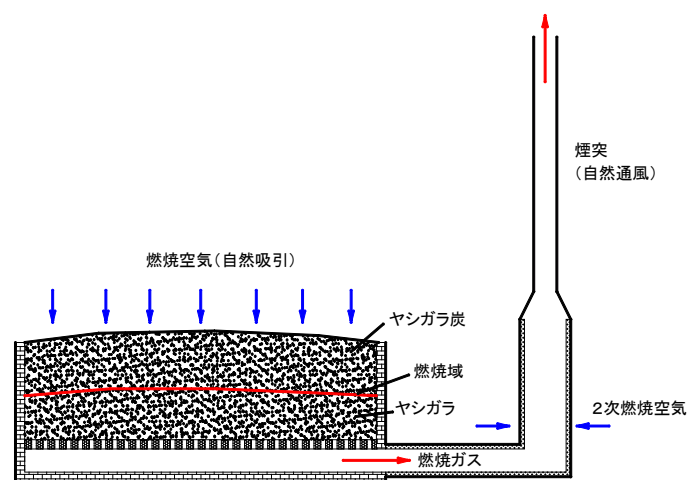


図1. 固定式バッチ炉概念図

(2) BC 社

炉形式 : ロータリーキルン式連続炉 (図2.)

場所 : マレーシア・サラワク州

生産能力 : 10,000 ton/y

- 特徴
- ・ 品質不安定で日本の鉄鋼業ニーズに合わない(灰分と湿分高い)  
(固定炭素 70-75 %、灰分 9-11 %)
  - ・ 排ガスは2次燃焼炉で完全燃焼され、定常運転時には煤塵発生が少ない。
  - ・ 連続炉であり、プロセス改善と規模拡大の可能性がある。
  - ・ サラワク州はヤシガラが余剰で安価大量に入手可能。

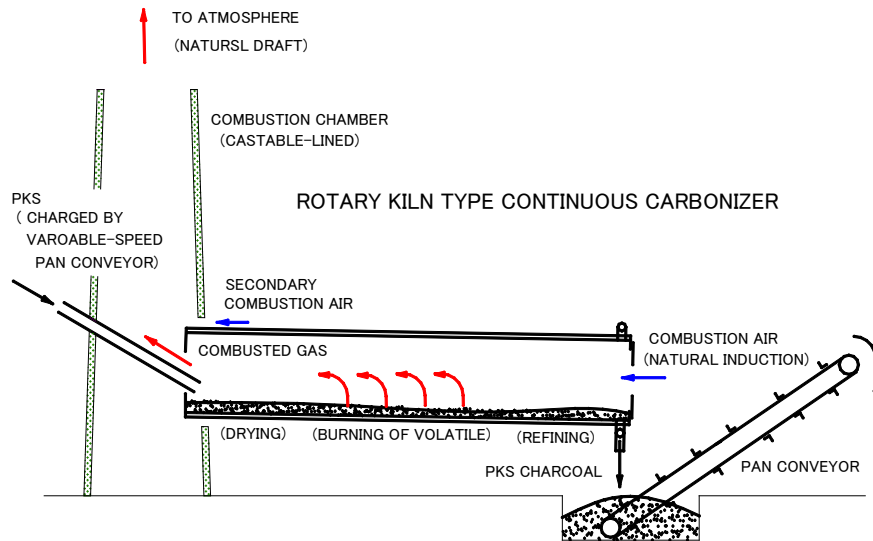


図2. ロータリーキルン概念図

## 5. 調査対象企業と設備の概要

EC社とBC社を比較した結果、BC社を「プラント改善診断」の対象企業として絞った。以下に企業の概要と設備仕様を説明する。

- (1) 所在地： 本社はマレーシア国サラワク州州都クチン市にあり、3基の活性炭製造用ロータリーキルンを保有する。
- (2) 商品： ヤシガラからのヤシガラ炭製造とヤシガラ炭からの活性炭製造の他に、ヤシガラや鋸屑をブリケット化して家庭用燃料として販売。
- (3) 生産量と年商： ヤシガラ炭の外販可能量は 10,000 トン／年、他の製品も合わせて年商 250 万 US\$。
- (4) キルン形式： 直熱式で原料予熱装置なし、燃烧空気は自然通風、排ガス集塵機なし。
- (5) 特徴と問題点
  - ・ 単純な設備で付属機器も少なく、操業が容易
  - ・ 乾留ガスは2次燃焼炉（COMBUSTION CHAMBER）で完全燃焼され、未燃分やダストはほとんど無いように見える。
  - ・ 直接燃焼式であるため揮発分だけでなく固形炭素分も若干燃焼し、製品中の灰分が高く収率はバッチ炉に比べて 20 % 程度劣る。
  - ・ 製品ヤシガラ炭の品質が不安定（定量的に最適操業条件を把握していない）。
  - ・ 製品は直接散水冷却のため製品ヤシガラ炭中の水分が高い（12 %）。
  - ・ 2次燃焼排ガスのエネルギーが未利用。
- (6) ヤシガラ炭生産能力： キルン1基当たり 400 kg/h（ヤシガラ処理量 2,000 kg/h）

## 6. 現地調査

### (1) 第1回現地調査

期日：2009年9月6日～12日

出張者：スチールプラント株式会社技術開発センター 中山、北村、上田

JFE 商事マレーシア Mr. Michael Wong

先方対応者：BC 社社長)

活性炭メーカー BG 社社長

#### 現地での業務内容

- ・ 操業状況の確認
- ・ 熱収支と物質収支作成のための計測項目、計測手順、計測方案の調整
- ・ 下記データを計測

ヤシガラ処理量とヤシガラ炭生成量

吸引空気と排ガスの量、温度(持参したピトー管、熱線風速計、および熱電対使用)

排ガス成分(CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 分析を現地業者に依頼)

キルン鉄皮温度、炉内温度、2次燃焼塔表面温度(持参した放射温度計による)

- ・ 計測状況を写真5. に示す。また計測項目を図4. に示す。



写真5. 計測作業

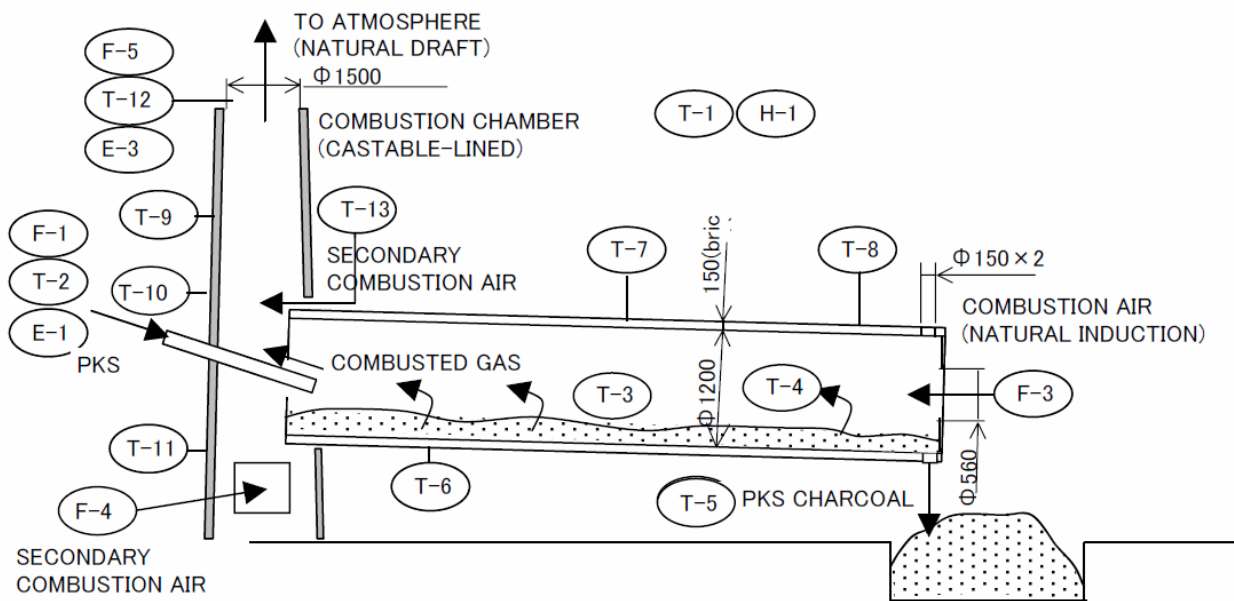


図4. 計測点

## (2) 第2回現地調査

期日：2010年2月1日～4日

出張者：スチールプランテック株式会社技術開発センター 中山、北村、上田、潮田

JFE 商事株式会社原材料本部 高橋氏、JFE 商事マレーシア Mr. Michael Wong

先方対応者：第1回現地調査に同じ。

現地での業務内容

- ・ 9 月出張時の計測データのレビュー
- ・ 北海道大学に依頼した炭化プロセスの実験室テスト結果の説明と評価
- ・ プロセスの問題点と改善案、および今後の協力関係などにつき討議

## 7. 炭化プロセスの実験室テスト

BC 社キルンのプロセスの炭化温度・時間・雰囲気と炭化度および収率などの影響を定量的に把握する目的で、北海道大学大学院農学研究院・森林化学研究室に炭化プロセスの実験室テストを依頼した。以下にその結果の概要を示す。

### (1) 実験装置と実験方案

実験装置の概要を 図5. に示す。炭化試験は、直径 10 cm 長さ 20 cm 程度のステンレス製容器内の皿に 50 g のヤシガラを敷き、電気炉に入れて外部から加熱した。容器内にはキャリアガスとして窒素を送り込み、発生ガスとキャリアガスを捕集して成分と量を分析した。乾留後のヤシガラの高温密閉保持による揮発分減量や炉内酸化減量の計測にもこの容器を用い、得られたヤシガラ炭を工業分析した。

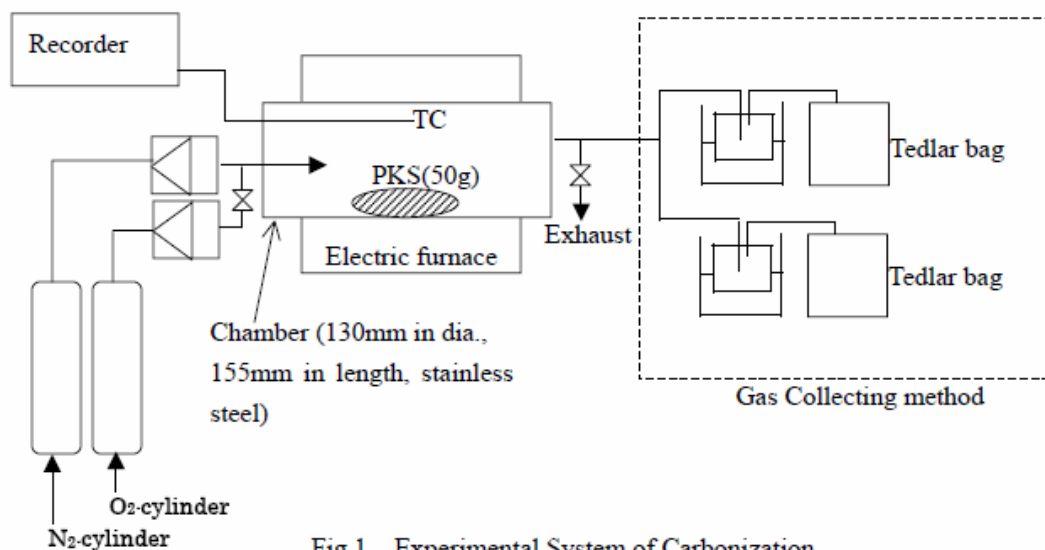


Photo.1 Chamber



Photo.2 Electric furnace



Photo.3 Accessories for N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> gas injection

図5. 実験装置のフロートと写真

## (2) 実験結果の概要

### 1) ヤシガラの乾留炭化時に発生する揮発分の量と成分

図6. に発生ガスデータを示す。低温域で CO + CO<sub>2</sub>、次に炭化水素、高温域で水素が発生している。

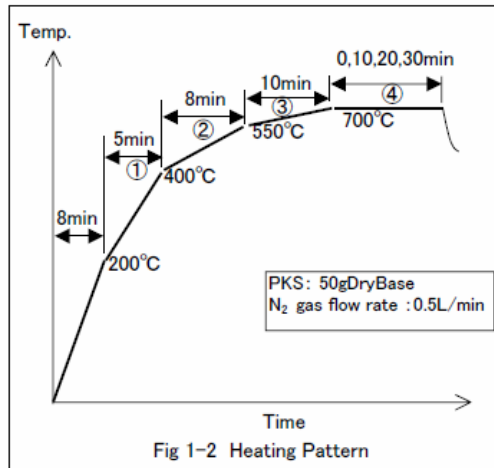


Table 1 Generated gas during carbonization (for PKS 50g, DryBase)

Pyrolytic gases measured	Volume of pyrolytic gases measured at the increasing temperature stages						
	① 200°C	② 400°C	③ 550°C	④ 700 °C holding			
	~400°C	~550°C	~700°C	0min holding	10min holding	20min holding	30min holding
total volume of pyrolytic gas [L]	2.11	3.57	2.90	0.00	1.82	1.10	2.12
H <sub>2</sub>	trace	trace	0.02	n.d.	0.16	0.54	0.60
CO	trace	0.91	0.51	n.d.	trace	0.01	trace
CH <sub>4</sub>	n.d.	trace	0.48	n.d.	trace	trace	trace
CO <sub>2</sub>	trace	2.24	0.06	n.d.	n.d.	trace	n.d.

Composition	Average gas volume [L] / 50g PKS (DryBase)															
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
H <sub>2</sub>																
CO																
CH <sub>4</sub>																
CO <sub>2</sub>																
H <sub>2</sub> O																

図6. 乾留時の発生ガス

2) 製品ヤシガラ炭の密閉高温保持による揮発分減量(炭化促進)

BC 社のプロセスの特徴は、ロータリーキルン内での急速加熱とその後の密閉高温保持による揮発分の減量である。この現象を再現した試験結果を表2.に示す。Yield (収率)は標準的な値25%より高いものの、狙いとする揮発分8% 固定炭素85%には達していない。実炉では炭化温度は700 degC よりも高い800 degC 程度と想定される。

表 2. 密閉高温保持による揮発分減量

sample	Yield [wt%]	Ms* [wt%]	VM* [wt%]	FC* [wt%]	Ash [wt%]	C [%]	H [%]	N [%]	O [%]
Palm Kernel Shell		13.37	80.51	17.40	5.62(2.09)	47.36	5.33	0.83	44.39
700 °C-30 min	32.62	0.90	14.02	81.43	3.44(4.56)	89.29	2.14	0.73	3.29
700 °C-20 min	33.13	0.86	14.29	80.66	5.05	87.32	2.27	0.67	4.71
700 °C-10 min	34.09	1.04	16.01	80.10	3.89	88.26	2.53	0.68	4.64
700 °C-0 min	34.76	0.90	15.29	80.14	0.98(4.57)	86.09	2.54	0.64	6.17
600 °C-30 min	36.29	1.20	22.07	74.03	3.90	85.18	3.16	0.79	6.97
600 °C-20 min	35.80	0.84	19.69	76.00	4.58(4.32)	83.79	3.05	0.71	8.14
600 °C-10 min	36.12	0.72	20.47	77.15	2.39	84.52	3.09	0.65	9.36
600 °C-0 min	37.04	0.52	24.37	71.26	3.04(4.37)	82.42	3.16	0.71	9.35
500 °C-30 min	39.74	0.92	27.29	69.58	3.13	79.01	3.73	0.75	13.39
500 °C-20 min	39.49	0.38	28.23	69.48	2.29	78.85	3.45	0.68	14.74
500 °C-10 min	40.11	0.38	29.95	66.81	2.06(3.24)	78.94	3.56	0.68	13.59
500 °C-0min	41.84	0.83	33.65	62.89	2.91(3.46)	76.51	3.98	0.74	15.32

\*Ms: moisture content, VM: volatile matter content, FC: fixed carbon content

無水ベース

所定の炭化温度まで昇温後、30分間・20分間・10分間保持及び保持時間なしの4段階の保持時間で試炭化を行った。得られた炭化物試料に対して、水分・揮発分・灰分の測定を行い、元素分析を行った。

炭化温度を上げるほど、炭化物収率・揮発分は減少し、固定炭素の割合は増加した。

収率と揮発分および固定炭素の関係をグラフにすると 図7. のようになる。グラフの外挿により揮発分 8 % 固定炭素 85 % で収率 30 % は可能と判断できる。

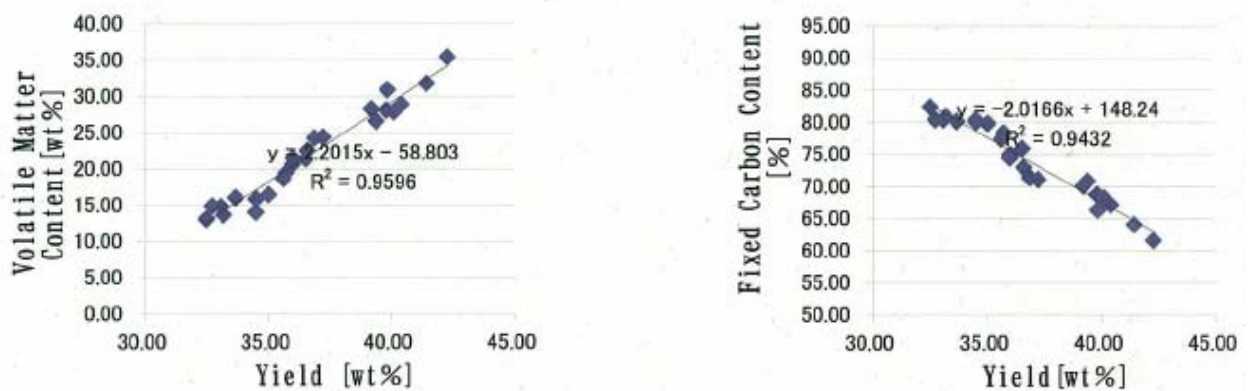


図7. 収率と揮発分および固定炭素の関係

### 3) 乾留炭化後の高温ヤシガラ炭の炉内酸化減量

BC 社で現在生産しているヤシガラ炭は、他社の低温バッチ炉製品に比べて、灰分が高く収率が低い。この理由は炉内で固定炭素が燃焼しているためと考えられる。この検証のために、炭化物を500, 600,

700 degC の温度レベルで酸素濃度 21 %, 10 %, 5 % の雰囲気にて 10 分間保持して成分の変化を見た。この結果を表 4. に示す。この結果、酸素濃度はあまり成分変化に影響せず、温度による影響が大きいことが分かった。高温保持により、固定炭素ではなく残留している揮発分が先に焼損している。上記 2) の結果に加えてこの計測により、揮発分 8 % 固定炭素 85 % を実現できる目処が立った。

表 4. 乾留炭化後の高温ヤシガラ炭の炉内酸化減量

	炭化温度 [°C]	酸素濃度 [%]	収率 [%]	水分 [%]	揮発分 [%]	灰分 [%]	固定炭素 [%]
PKS				13.37	80.5	2.09	17.40
1	700	21	33.28	1.30	8.53	5.79	85.93
2	700	10	32.73	1.04	8.67	7.16	84.16
3	700	5	33.37	1.18	7.54	6.39	86.07
4	600	21	35.64	0.88	14.44	7.11	78.47
5	600	10	34.32	1.29	13.22	6.78	79.99
6	600	5	35.96	1.09	14.66	5.97	79.37
7	500	21	38.65	0.67	22.72	4.78	72.49
8	500	10	39.27	0.93	23.18	5.85	70.97
9	500	5	40.61	0.55	21.90	6.11	72.00

## 8. 設備改善の方向に関する打合せ

実験室での炭化テストの結果から、キルンのプロセス改善の方向は、急速加熱後に密閉高温保持するのが有効と思われる。これにより残留揮発分を先に飛ばし、固定炭素の多くを残すことができる見込である。また製品の冷却は直接散水せずに密閉徐冷する。このための設備改造案に付き議論し、基本的なアイデアを方向付けた。

## 9. 今後の計画

### (1) 設備改造の費用負担

設備改造費負担に付き議論した。スチールプラントックは次年度の技術開発費による負担を社内起案するが、成果による負担費用の補填が必要である。詳細は今後のビジネスプランも加味して JFE 商事も加えた3社で「共同技術開発」の形で整理する。

### (2) 今後の技術開発と技術外販の方向に関する合意

- 1) BC 社の残りキルンの改造
- 2) マレーシア、インドネシアのヤシ油工場への炭化キルンとプロセス技術の販売
- 3) 廃熱回収、原料系の安定供給、電炉向け最適仕様確立等、さらなる技術向上への取り組み
- 4) 日本他アジア諸国電炉企業へのヤシガラ炭拡販

(3) 鉄鋼用ヤシガラ炭の需要見込みに関する意見交換

BC 社から今後のマーケットに関して質問があり、下記のように説明した。

- 1) 品質が満足でき価格競争力があれば、マーケットは十分にある。
- 2) JFE 商事は日本の鉄鋼企業に使用を働きかけており、品質面では積極的な評価を得ている。
- 3) 4月以降は冶金用コークスの価格上昇が予想され、ヤシガラ炭の競争力にとって有利な方向。
- 4) 日本政府は CO2 削減を強力に推進しており、政策が実施されれば追い風となる。
- 5) いずれにしても必要な条件は、品質向上・価格競争力・安定供給である。

(以上)