
果実核廃棄物を利用した浄化・吸着機能を有する建材開発に関する実験的研究

(課題番号：15560504)

平成15年度 ～ 平成16年度 科学研究費補助金（基盤研究（C））研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者

興 石 直 幸

(早稲田大学理工学術院)

は し が き

研 究 組 織

研究代表者 : 興 石 直 幸 (早稲田大学理工学術院)
(研究協力者 : 位 田 達 哉 (早稲田大学理工学術院))

交付決定額 (配分額)

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 15 年度	1,800		1,800
平成 16 年度	1,800		1,800
平成 年度			
平成 年度			
平成 年度			
総 計	3,600		3,600

研 究 発 表

(1) 口頭発表

- ・ 位田、興石ほか：果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究（第 6 報 炭化温度が果実核の基本的性質に及ぼす影響）、日本建築学会関東支部研究報告集 I、2004.3
- ・ 位田、興石ほか：果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究（第 7 報 室内空気汚染気体の浄化・吸着性能）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、2004.8
- ・ 位田、興石ほか：果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究（第 8 報 炭化物における特性値間の相互関係）、日本建築学会関東支部研究報告集 I、2005.3
- ・ 位田、興石ほか：果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究（第 9 報 果実核を用いた成形板におけるホルムアルデヒドの低減性能）、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、2005.9

(2) 出版物

早稲田大学建築学科「未来を拓く新しい建築システム」研究グループ：未来を拓く新しい建築システム、株式会社 建築技術、2006.1

目 次

第1章 序論	-----	1
1.1 研究の背景	-----	1
1.1.1 建設産業における廃棄物問題の現状	-----	1
1.1.2 果実核の廃棄に関する現状	-----	1
1.1.3 住環境における有害物質に関する現状	-----	1
1.2 研究の目的	-----	1
1.3 研究の項目	-----	1
2. 果実核および炭化果実核の性質	-----	3
2.1 実験の目的および方法	-----	3
2.1.1 実験の目的	-----	3
2.1.2 実験の項目	-----	3
2.2 実験の方法	-----	5
2.2.1 果実核試料	-----	5
2.2.2 炭化の方法	-----	5
2.2.3 測定項目および試験方法	-----	7
2.3 実験の結果	-----	13
2.3.1 果実核の性質	-----	13
2.3.2 炭化温度が果実核の性質に及ぼす影響	-----	19
2.4 考察	-----	49
2.4.1 炭化度に関する検討	-----	49
2.4.2 吸着性能に関する検討	-----	50
2.4.3 強度に関する検討	-----	52
2.5 結言	-----	54
3. 炭化果実核を用いた成形板の性質	-----	55
3.1 実験の目的・項目および方法	-----	55
3.1.1 実験の目的	-----	55
3.1.2 実験の項目	-----	55
3.2 実験の方法	-----	56
3.2.1 使用材料	-----	56
3.2.2 調合	-----	57
3.2.3 混練	-----	57
3.2.4 試験片の成形および養生	-----	58

3.2.5 測定項目および試験方法	-----	60
3.3 実験の結果および考察	-----	62
3.4 結言	-----	64
4. 結論	-----	65

第1章 序論

1. 結言

1.1 研究の背景

1.1.1 建設産業における廃棄物問題の現状

建設産業は資源消費量の約 4 割を建設資材として消費する一方、産業廃棄物の最終処分量の約 3 割を産業廃棄物として処理しており、資源循環型社会の構築に非常に深い関わりを持っているといえる。今後、住宅・社会資本の更新に伴い、建設副産物の排出量が増大し、資源循環に占める建設産業の比率がより高くなることが予想される。このような状況において、建設リサイクルのより一層の推進が必要とされ、従来のいわゆるワンウェイ方式を見直す抜本的な対策が不可欠となっている。

1.1.2 果実核の廃棄に関する現状

食品加工業において、発生する生ごみを埋め立て処分しているのが現状であり、腐敗による臭気などが問題となっている。果実の加工業において、産業廃棄物として発生する果実核の埋め立て処分にかかる費用は、約 25,000 (円/t) であり、大量の果実核廃棄物を排出する業者には相当な負担となっている。加えて、埋め立て用地は限られており、その容量は今後発生する廃棄物量を断続的に処分するには充分とはいえない。さらに、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」によれば、減量化と食品循環資源の再生化が義務付けられ、食品廃棄物（食品の製造、加工、調理の過程で生じたもので、最終的に食されないもの）等の発生を抑制し、減量化することが義務付けられているなど、果実核の再資源化への方策が求められている。

1.1.3 住環境における有害物質に関する現状

近現代の建築において、内装仕上げ材および家具などにホルムアルデヒドや揮発性有機化学物質（以下、VOC と略記する。）を用いることは少なくない。過去、我が国における建築物の大半は、通気性に優れた木造建築であり、取り立てて換気が必要としないものであった。このため、ホルムアルデヒドや VOC を建築用途で用いることについては、取り立てて問題視されることはなかった。しかしながら、現代では、省エネルギー化を目的とした建築物の高気密化を追求する傾向にあり、ホルムアルデヒドや VOC の気中濃度が高まる傾向にあるのが現状である。その結果、室内空気の汚染が原因と考えられているシックハウス症候群や化学物質過敏症といった居住者の健康障害が確認されており、これらの住環境における有害物質に対する問題の解決が急がれている。

1.2 研究の目的

地球環境問題の解決が重要な課題となる中、産業廃棄物の発生量を抑制するとともに、廃棄物の再資源化方法の確立は急務となっている。また、住環境における有害物質が問題となっており、その方策のひとつとして環境浄化型の建築材料に関する研究は行われているものの、それらの吸着性能については必ずしも明解となっていないなど、究明すべき課題は少なからず残されている。

そこで本研究は、環境負荷の軽減および住環境における有害物質の低減を意図し、果実核廃棄物から製造した炭化物を有効利用し、気相における有害物質の吸着機能を有する建築構成材を開発するための基礎データを整備することを目的とするものである。

1.3 研究の項目

本研究は、果実核廃棄物から製造した炭化物を有効利用し、気相における有害物質の吸着機能を有する建築構成材を開発するための基礎データを整備することを目的とし、以下の項目に従って研究を

行うものである。

A. 果実核および炭化果実核の性質

桃および梅の果実核を対象として、果実核の基本的な性質を測定するとともに、温度条件を変えて果実核を炭化することにより、炭化温度が炭化物の性質に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

測定する項目は、元素組成（炭化度）、懸濁液の pH、真密度、細孔径分布、吸着性能、密度および吸水率、炭化による質量減少率、粒径分布、圧壊強度、表面および断面の微細構造である。

B. 炭化果実核を用いた成形板の性質

果実核（桃）の炭化物を粗骨材として用いた 3 種類のセメント系パネルを作製し、その基本的な物性および室内汚染気体の低減性能を測定することにより、炭化物を使用したセメント系パネルの利用可能性を明らかにすることを目的とする。

測定する項目は、見かけ密度、曲げ強度、曲げ弾性係数および室内汚染気体の低減性能である。

第2章 果実核および炭化果実核の性質

2.1. 実験の目的および項目

2.1.1 実験の目的

果実核の建材としての有効利用を意図し、桃および梅の果実核を対象として、その基本的な性質を明らかにすることを目的とする。また、炭化温度を変えた炭化物を作製し、炭化温度が炭化果実核の性質に及ぼす影響を明らかにするとともに、吸着性能に及ぼす特性値を明らかにすることを目的とする。

2.1.2 実験の項目

桃および梅果実核を対象に、その基本的な性質を明らかにすることを目的として、以下に示す 9 項目の測定を行った（実験 1）。次に、上記の果実核を用いて炭化温度の異なる炭化物を作製し、炭化温度がその性質に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験 1 と同様の項目について測定を行った（実験 2）。

A. 元素組成（炭化度）

構成元素および炭化度を把握するため、蛍光 X 線回折装置および有機微量元素分析装置を用いて含有元素を定量分析した。

B. 懸濁液の pH

水素イオン濃度を把握するため、JGS 0211⁻²⁰⁰⁰「土懸濁液の pH 試験方法」に準じて懸濁液の pH を測定した。

C. 真密度

実質部分の密度を把握するため、JIS R 5201⁻¹⁹⁹⁷「セメントの物理試験方法」に準じて真密度を測定した。

D. 細孔径分布

細孔構造を把握するため、水銀圧入式ポロシメータを用いて細孔径分布を測定した。

E. 密度および吸水率

組織の粗さを把握するため、破砕片について、JIS A 1110⁻¹⁹⁹⁹「粗骨材の密度および吸水率試験」に準じて密度および吸水率を測定した。

F. 吸着性能

空気汚染気体の吸着性能を把握するため、ガスバック法により、ガス検知管を用いて残存濃度の経時変化を測定した。

G. 質量減少率（炭化物のみ測定）

炭化による質量の減少度合いを把握するため、炭化の前後において試料全体の質量を測定し、質量減少率を算出した。

H. 粒径分布

形状および外観性状を把握するため、形状の特徴から寸法の測定位置を定義し、その寸法を測定した。

I. 圧壊強度

個体の堅硬度合いを把握するため、粒径分布測定の際に定義した位置から圧縮方向に加力することによって最大荷重を測定した。

J. 表面および断面の微細構造

表面および断面の微細構造を把握するため、走査型電子顕微鏡を用いて表面および断面を観察した。

2.2 実験の方法

2.2.1 果実核試料

試料には、長野県産の果実核（桃）および中国広東省産の果実核（梅）を用いた（写真 2.2-1）。ここで、果実核（桃）については、燃料用として果実核（桃）を炭化して販売している業者から炭化前の果実核を入手し、これを試料とした。また、比較用の試料として、上述の業者が販売している燃料用の炭化物（市販品）および備長炭を用いた。



写真 2.2-1 果実核（左：果実核（桃）、右：果実核（梅））

2.2.2 炭化の方法

A. 試料の調整

果実核を約 4l 程度採取し、恒温乾燥炉（ $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）内で 24 時間乾燥させた。この状態を絶乾状態と定義する。この絶乾状態とした試料の質量を、電子秤量計により測定した。そして、試料をステンレス製容器（材質：SUS304、内寸法：270mm×188mm×80mm）に詰め、空気の供給を遮断するために同材質の蓋を被せた。

B. 装置

試料の炭化には、写真 2.2-2 に示す電気炉（東京硝子器機社製 FN-215-S）を用いた。電気炉の主な仕様および装置の概要を、それぞれ表 2.2-1 および図 2.2-1 に示す。図 2.2-1 のように、試料を炭化する際に発生する煙は、換気ブロアに連結したダクトから強制的に吸引し、室外へと放出した。試料の炭化には、写真 2.2-2 に示す電気炉を用いた。



写真 2.2-2 電気炉（東京硝子器機社製 FN-215-S）

表 2.2-1 電気炉の主な仕様

電源	単層200 [V]、50/60 [Hz]、2.6 [kW]
外形寸法	480 ^W ×645 ^H ×630 ^D [mm]
炉内寸法	200 ^W ×150 ^H ×300 ^D [mm]
発熱体	カンタルA-I（セラミックファイバー埋め込み型）
温度	最高=1100 [°C]、常用=1000 [°C]
温度制御	プログラム調節計（2パターン8セグメント）、SSR駆動によるP.I.D制御方式
安全回路	過昇防止回路・バーンアウト回路付き
質量	57 [kg]

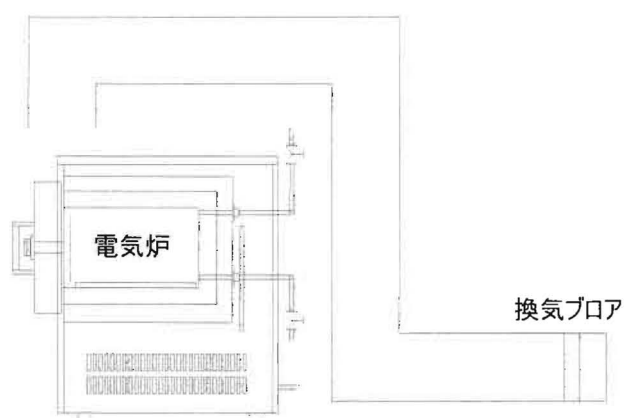


図 2.2-1 装置の概要

C. 炭化の条件

炉内の最高温度は、200℃、300℃、400℃、500℃、600℃、700℃および800℃の7水準とし、炉内は空気雰囲気とした。

D. 炭化の手順

試料の入ったステンレス製の容器を電気炉に挿入し、昇温を開始した。炉内の雰囲気温度が所定の温度に達するまで毎分 30℃の昇温速度で加熱し、この状態を 2 時間保持した後、炉内雰囲気温度が

100℃程度になるまで自然放冷した。その後、電気炉から容器を取り出し、常温まで自然放冷した後、試料を容器から取り出した。

なお、過去の実験では、昇温過程において空気の遮断が不完全であったために試料が燃焼する場合があった。また、炉内雰囲気の高温度に達した直後に急冷したことにより、熱が内部にまで均一に伝わらず、炭化の程度にばらつきが認められた。このため本実験では、(1) 空気の供給を遮断するため、容器と同材質の蓋を被せること、(2) 熱を均一に伝わせるため、設定した炉内の最高温度を2時間保持することにより炭化方法の改善を図った。

2.2.3 測定項目および試験方法

A. 元素組成

a. 蛍光 X 線分析

1) 試料の調整

試料をメノウ乳鉢で微粉碎した後に絶乾状態とし、プレス機を用いてペレット状にした。ペレット作製時のプレスの加圧力は 100kN、加圧時間は 1 分とした。

2) 測定条件および結果の整理

元素組成の測定には、写真 2.2-3 に示す蛍光 X 線分析装置（理学電機工業社製 RIX-2100）を用いた。分析条件は、測定元素範囲は ${}^4\text{Be}\sim{}_{92}\text{U}$ 、X 線ターゲットは Rh、管電圧および電流は自動、測定径は 20mm、真空雰囲気、分析手法は SFP バルク法とした。ここで、FP (Fundamental Parameter) 法とは、蛍光 X 線の理論式から求めた蛍光 X 線強度（理論強度）と実測強度を対比し、両者の差がなくなるような組成を求めて定量値とする方法である。

測定は 1 度行い、その結果を測定値とした。そして、測定値から、炭化度の一般的な指標である C/O、C/H のうち C/O を算出した。



写真 2.2-3 蛍光 X 線分析装置（理学電機工業社製 RIX2100）

b. 有機微量元素分析

1) 試料の調整

試料をメノウ乳鉢で微粉碎した後に絶乾状態としたものを約 2g 採取し、その質量を電子秤量計で測定した後、スズ製のカプセルに挿入した。

2) 測定方法および結果の整理

有機微量元素の測定には、写真 2.2-4 に示す有機微量元素分析装置 (PerkinElmer 社製 PE-2400II) を用いた。この装置は、有機物は完全に燃焼分解すると H_2O 、 CO_2 、 N_2 になる特性を利用し、試料の構成元素である C、H および N を定量するものである。測定条件は、分解温度を 1800°C とし、酸素雰囲気にて試料を完全燃焼させた。そして、燃焼時に発生する気体から H_2O 、 CO_2 、 N_2 を熱伝導度検出器により検出および定量した。

測定は 2 度行い、その平均値を測定値とし、炭化度の指標である C/H を算出した。



写真 2.2-4 有機微量元素分析装置 (PerkinElmer 社製 PE-2400II)

B. 懸濁液の pH

1) 試料の調整

試料をメノウ乳鉢で微粉碎した後に絶乾状態としたものを約 30g 採取し、その質量を電子秤量計で測定した後、ビーカーに入れた。そして、試料の質量に対する純水の質量比が 5 になるように純水を加えて懸濁液を調製した。

2) 測定方法および結果の整理

pH の測定は、JGS 0211⁻²⁰⁰⁰「土懸濁液の pH 試験方法」に準じ、測定には写真 2.2-5 に示すガラス電極式 pH 計 (東亜ディーケー社製 HM-25G) を用いた。

測定は 2 度行い、その平均値を懸濁液の pH とした。



写真 2.2-5 ガラス電極式 pH 計（東亜ディーケー社製 HM-25G）

C. 真密度

1) 試料の調整

試料をボールミルによって粗粉碎した後、さらにメノウ乳鉢で微粉碎した。この微粉碎した試料を絶乾状態とした後に約 40g を採取した。

2) 測定方法および結果の整理

真密度の測定は、JIS R 5201⁻¹⁹⁹⁷「セメントの物理試験方法」の方法に準じた。なお、溶液には、JIS K 2204⁻¹⁹⁹⁷「軽油」に準じた軽油を用いた。

測定は 2 度行い、その平均値を真密度とした。

D. 細孔径分布

1) 試料の調整

試料を一辺 2mm 程度に粗粉碎し、十分に水洗いした後に絶乾状態としたもの約 5g を採取した。

2) 測定方法および結果の整理

細孔径分布の測定には、写真 2.2-6 に示す水銀圧入式ポロシメータ（Micromeritics 社製 PoreSizer 9320）を用いて行い、細孔直径と細孔量との関係を測定した。

細孔直径に関して、10nm 以下、10～100nm、100～1000nm、1000nm 以上の 4 つに区分し、その時の細孔量を算出した。なお、測定は 2 回行い、その平均値を細孔径分布として評価した。



写真 2.2-6 水銀圧入式ポロシメータ (Micromeritics 社製 PoreSizer 9320)

E. 密度および吸水率

1) 試料の調整

試料を一辺 2mm 程度に粗粉碎し、十分に水洗いした試料を約 40g 採取した。

2) 測定方法および結果の整理

密度および吸水率の測定は、JIS A 1110¹⁹⁹⁹「粗骨材の密度および吸水率試験」に加え、恒温恒湿層 (20±5℃、60±5%RH) に 24 時間静置した状態を気乾状態と定義し、その密度を測定した。

測定は 2 回行い、その平均値を試料の絶乾密度、気乾密度、表乾密度および吸水率とした。

F. 吸着性能

1) 試料の調整

試料を粗粉碎した後、ふるいの呼び寸法 4.75mm を通過し、2mm に残留するものを採取した。これを十分に水洗いし、絶乾状態とした試料を約 3g 採取した。

2) 汚染気体

検討する汚染気体はホルムアルデヒド、アンモニア、トルエンおよびキシレンの 4 種類であり、濃度調整済み標準ガスを用いた。気体の濃度は表 2.2-2 に示すように、厚生労働省の定める濃度指針値の 300 倍とした。なおアンモニアは、厚生労働省の定める室内空気汚染物質には含まれていないが、絵画等に悪影響を与えること指摘されているため検討に加えた。

表 2.2-2 汚染気体の濃度

気体名	分子量	初期濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
ホルムアルデヒド	30.03	3.0×10^4 (25)
アンモニア	17.03	2.0×10^4 (30)
トルエン	92.14	7.8×10^4 (21)
キシレン	106.16	2.6×10^5 (60)

【注】括弧内は気体濃度 [ppm] を示す。

3) 測定方法および結果の整理

試料を約 1.5g 採取し、その質量を電子秤量計で測定しておき、容量 1ℓ のコック付きバッグ (材質：ポリフッ化ビニル) に入れた後にバッグ内の空気を排出した。つぎに、このバッグを恒温恒湿槽

($20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $60\pm 5\%\text{RH}$) に入れ、24 時間静置した後、バッグ内に汚染気体の標準ガスを注入し、再び恒温恒湿槽に戻した。標準ガスの注入後、1、3、10、30、60 および 120 分において、各汚染気体に対応したガス検知管を用い、バッグ内の残存濃度を測定した。

G. 質量減少率（炭化物のみ測定）

1) 試料の調整

試料を十分に水洗いした後、絶乾状態とした。

2) 測定方法および結果の整理

炭化前における試料の質量を測定し、試料を炭化した。そして、炭化後における試料の質量を測定し、質量の減少量の割合から炭化による質量減少率を算出した。

H. 粒径分布

1) 試料の調整

外観に明らかな破損がみられない絶乾状態の試料 150 粒を採取した。

2) 測定方法および結果の整理

図 2.2-2 に示すように、3 軸方向を長手方向、短手方向および厚さ方向と定義する。

寸法の測定には電子ノギス（精度 $1/100\text{mm}$ ）を用い、3 方向における寸法を測定した。

測定は各方向について 150 回行い、平均値、標準偏差および変動係数を算出した。さらに、試料の粒子体積を、簡易的に上記の 3 軸方向の積として算出した。

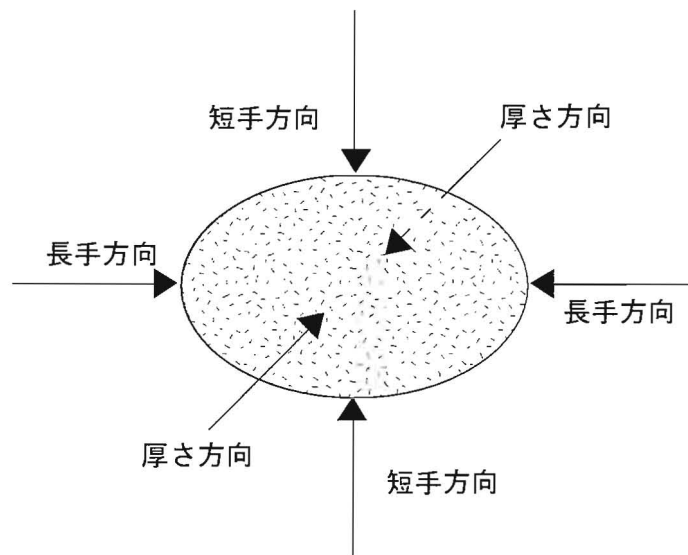


図 2.2-2 果実核の 3 軸方向

I. 圧壊強度

1) 試料の調整

明らかな破損が認められない絶乾状態の試料のうち、外観寸法が同程度のもの 15 粒を採取した。

2) 測定方法および結果の整理

加力装置には、写真 2.2-7 に示す高精度定速ひずみ方式万能試験機（島津製作所社製 AG10kN-E）を用いた。載荷は変位制御とし、速度を 0.01mm/min として、長手、短手および厚さの 3 軸方向について測定を行った。行うのは加力試験で

測定は各方向についてそれぞれ 5 回行い、その結果の平均値を試料の圧壊強度とした。



写真 2.2-7 高精度定速ひずみ方式万能試験機（島津製作所社製 AG10kN-E）

J. 組織観察

1) 試料の調整

明らかな破損が認められない試料を採取し、試料の断面を観察するために組織が崩れないように試料を半分に割裂した後、十分に水洗いしたものを絶乾状態とした。絶乾状態としたのは十分に水洗いしたものである。

2) 測定方法および結果の整理

表面および断面の微細構造の観察には、写真 2.2-8 に示す走査型電子顕微鏡（日立ハイテクノロジー社製 S-3000N）を用いた。測定条件は、加速電圧を 15kV、W.D. (Working Distance) を 15mm の一定条件とした。観察倍率を 100、1000 および 10000 の計 3 水準として、各倍率における画像を撮影した。



写真 2.2-8 走査型電子顕微鏡（日立ハイテクノロジー社製 S-3000N）

2.3 実験の結果

2.3.1 果実核の性質（実験 1）

A. 元素組成

蛍光 X 線分析および有機微量元素分析の測定結果をそれぞれ表 2.3-1 および表 2.3-2 に示す。

いずれの果実核も、構成元素の大部分は C、O および H であった。他に金属元素も検出されたが、いずれも微量であった。

表 2.3-1 蛍光 X 線分析の測定結果

試料名	質量濃度 [mass%]							
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
果実核（桃）	6.14E+01	3.74E+01	7.56E-02	1.05E-01	1.09E-01	1.85E-01	4.24E-02	5.83E-02
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Br	
	1.76E-02	3.73E-01	1.76E-01	3.28E-02	1.74E-03	1.23E-03	-	
果実核（梅）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	5.50E+01	4.29E+01	5.10E-01	4.60E-02	7.16E-02	1.32E-01	2.04E-01	1.63E-01
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Br	
	8.77E-01	4.43E-02	4.00E-02	-	-	-	1.77E-03	

表 2.3-2 有機微量元素分析の測定結果

試料名	質量濃度 [mass%]		
	C	H	N
果実核（桃）	47.1	6.01	0.230
果実核（梅）	50.2	5.96	0.335

B. 懸濁液の pH

懸濁液の pH の測定結果を表 2.3-3 に示す。

いずれの果実核も酸性を示した。果実核（桃）の pH と比較すると、果実核（梅）の pH は小さい値を示した。

表 2.3-3 懸濁液の pH の測定結果

試料名	pH
果実核（桃）	5.7
果実核（梅）	3.8

C. 真密度

真密度の測定結果を表 2.3-4 に示す。

いずれの果実核も同様の値を示し、その値は 1.41 g/cm^3 であった。

表 2.3-4 真密度の測定結果

試料名	真密度 [g/cm^3]
果実核（桃）	1.41
果実核（梅）	1.41

D. 細孔径分布

細孔径を 10nm 以下、10～100nm、100～1000nm および 1000nm 以上の 4 つに区分し、それぞれの区分における細孔量を表 2.3-5 に示す。また、炭化温度と区分毎の細孔量との関係を図 2.3-1 に示す。

細孔径が 1000nm 以上の範囲では、いずれの果実核とも細孔量はよく似た値を示した。一方、細孔径が 1000nm 以下の範囲では、果実核（梅）と比較して果実核（桃）の細孔量は 2 倍以上の値を示し

た。特に、細孔径が 100nm 以下の範囲において、その差は顕著であった。

表 2.3-5 区分ごとの細孔量の測定結果

試料名	細孔量 [$\times 10^2$ cc/g]				合計
	10 nm 以下	10 - 100 nm	100 - 1000 nm	1000 nm 以上	
果実核 (桃)	11.4	11.8	1.07	2.04	26.3
果実核 (梅)	1.52	1.33	6.42	2.89	12.2

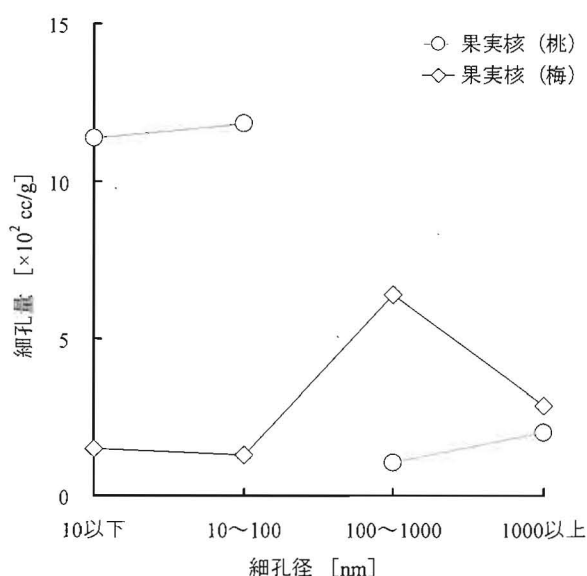


図 2.3-1 区分ごとの細孔径と細孔量との関係

E. 密度および吸水率

密度および吸水率の測定結果を表 2.3-6 に示す。

絶乾密度、表乾密度ともに果実核 (梅) の方が高く、吸水率は果実核 (桃) の方が高い値を示した。

表 2.3-6 密度および吸水率の測定結果

試料名	絶乾密度 [g/cm ³]	表乾密度 [g/cm ³]	吸水率 [%]
果実核 (桃)	0.74	1.08	46.8
果実核 (梅)	0.96	1.30	35.0

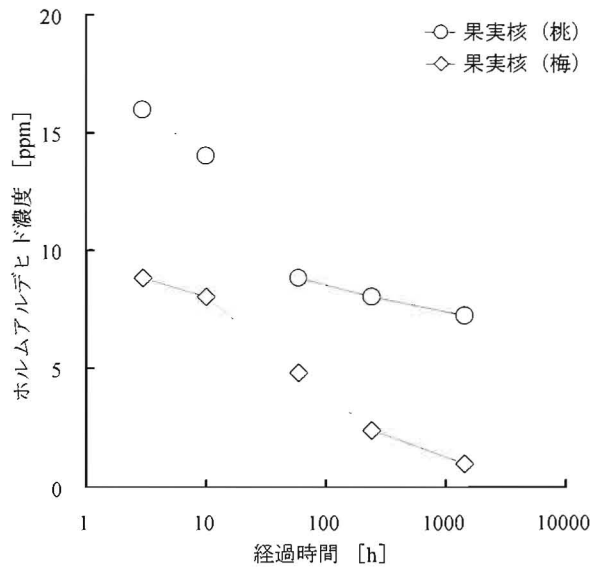
F. 吸着性能

吸着性能に関する試験結果を表 2.3-7 に示す。また、経過時間と各汚染気体の残留濃度との関係を図 2.3-2 に示す。図の (a)、(b)、(c) および (d) は、それぞれ、ホルムアルデヒド、アンモニア、トルエンおよびキシレンの場合である。

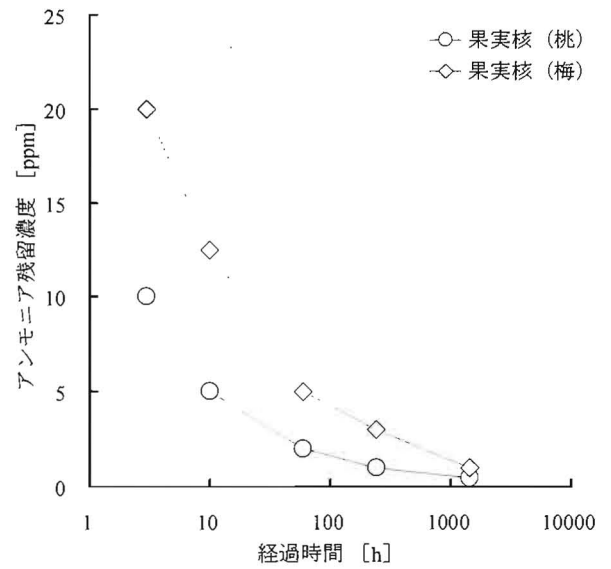
いずれの果実核も汚染気体を吸着した。ホルムアルデヒドの吸着については、果実核 (梅) の吸着速度が迅速であり、アンモニア、トルエンおよびキシレンでは、果実核 (桃) の吸着速度が迅速であった。特に、トルエンおよびキシレンについては、果実核 (桃) では濃度を半分程度にまで低減させたが、果実核 (梅) では大きな濃度変化を確認できなかった。

表 2.3-7 吸着性能に関する試験結果

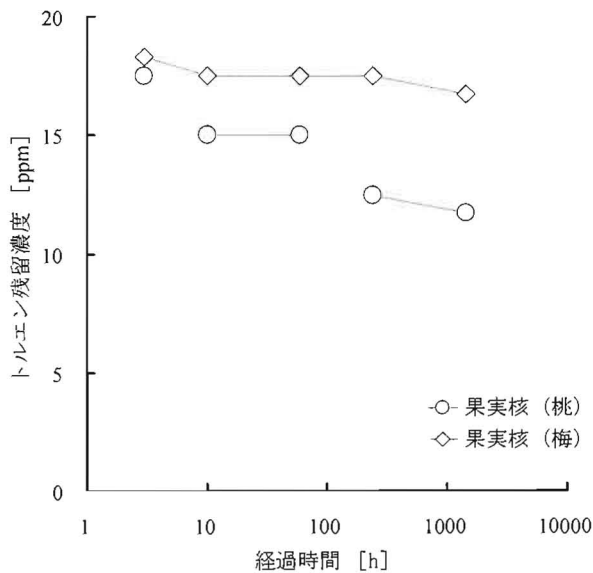
試料名	汚染気体	汚染気体の濃度 [ppm]					
		0分	3分	10分	60分	240分	1440分
果実核 (桃)	ホルムアルデヒド	24.7	16.0	14.0	8.8	8.0	7.2
	アンモニア	29.9	10.0	5.0	2.0	1.0	0.5
	トルエン	20.3	17.5	15.0	15.0	12.5	11.8
	キシレン	60.0	35.0	32.5	30.0	30.0	27.5
果実核 (梅)	ホルムアルデヒド	24.9	8.8	8.0	4.8	2.4	1.0
	アンモニア	30.5	20.0	12.5	5.0	3.0	1.0
	トルエン	20.2	18.3	17.5	17.5	17.5	16.7
	キシレン	60.0	60.0	60.0	60.0	50.0	50.0



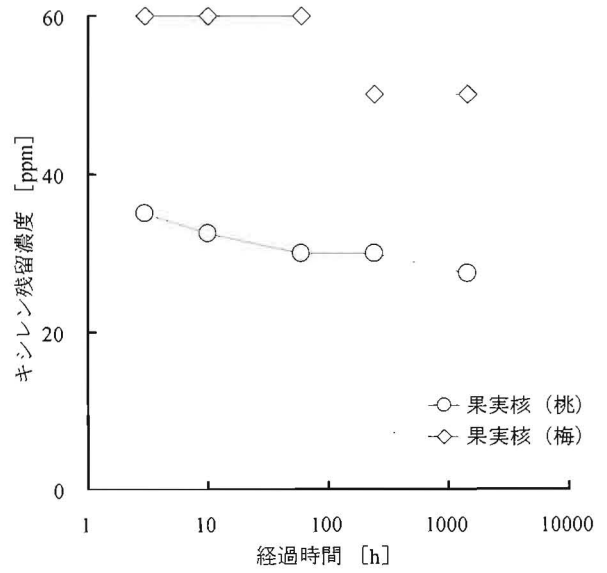
(a) ホルムアルデヒドの場合



(b) アンモニアの場合



(c) トルエンの場合



(d) キシレンの場合

図 2.3-2 経時変化と各汚染気体の残留濃度との関係

H. 粒径分布

粒径分布の測定結果を表 2.3-8 に示す。

各方向について、果実核（桃）の粒径は、果実核（桃）よりも大きい値を示した。変動係数について、果実核（梅）は果実核（桃）よりも低い値であることから、粒径の個体差は小さいといえる。また、厚さ方向を基準とした寸法比率では、果実核（梅）は果実核（桃）に比して扁平の度合いが低く、球に近い形状であるといえる。

表 2.3-8 粒径分布の測定結果

試料名	長さ [mm]			厚さ方向を基準とした寸法比率	
	長手方向	短手方向	厚さ方向	長手方向	短手方向
果実核（桃）	35.24 (7.99 %)	25.76 (9.81 %)	19.05 (9.35 %)	1.86 (10.1 %)	1.36 (9.22 %)
果実核（梅）	18.25 (6.56 %)	14.64 (5.44 %)	11.13 (5.18 %)	1.64 (7.42 %)	1.32 (3.65 %)

【注】 括弧内は変動係数を示す。

I. 圧壊強度

圧壊強度の測定結果を表 2.3-9 に示す。

断面積が異なることも一因となり、果実核（桃）の最大荷重は、果実核（梅）よりも大きい値を示した。

載荷方向の影響について、果実核（桃）は、長手方向、短手方向、厚さ方向の順に大きい値を示した。一方、果実核（梅）は、短手方向、厚さ方向、長手方向の順に大きい値を示した。

表 2.3-9 圧壊強度の測定結果

試料名	最大荷重 [N]		
	長手方向	短手方向	厚さ方向
果実核（桃）	792 (34.4 %)	957 (36.8 %)	1057 (30.4 %)
果実核（梅）	715 (9.93 %)	301 (3.34 %)	432 (7.50 %)

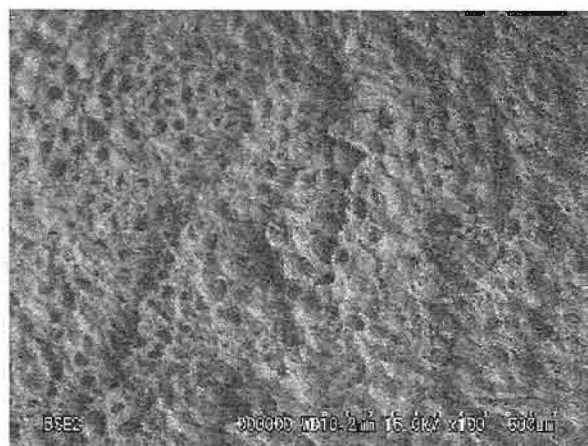
【注】 括弧内は変動係数を示す。

J. 組織観察

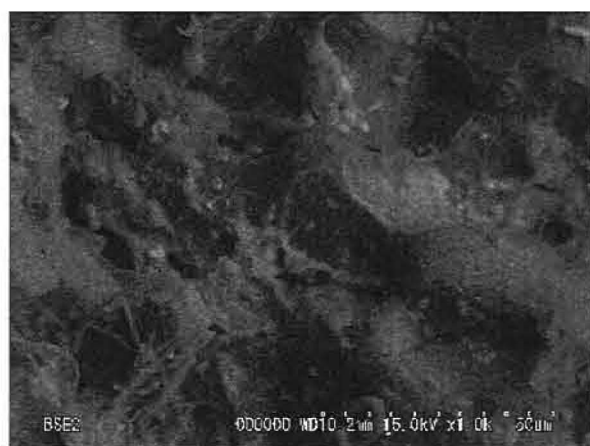
表面および断面の組織観察の結果を写真 2.3-1 から写真 2.3-4 に示す。写真の (a)、(b) および (c) は、それぞれ 100 倍、1000 倍および 10000 倍に拡大した場合である。



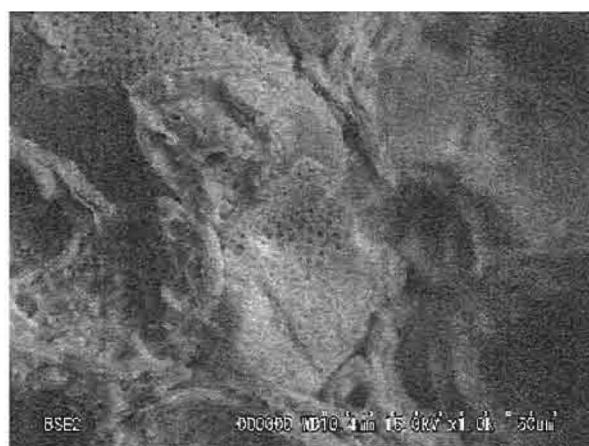
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

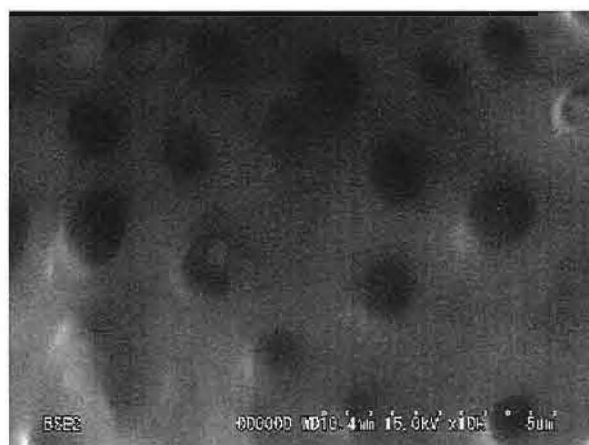


(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

写真 2.3-1 果実核（桃）の表面性状

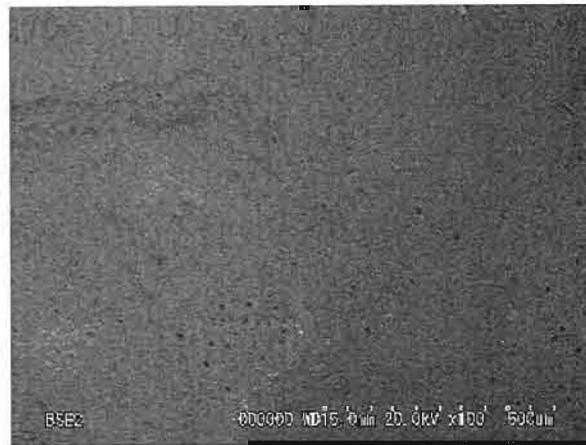


(c) ×10000 の場合

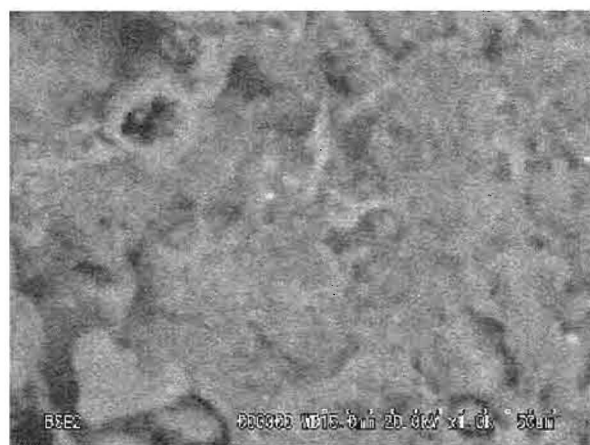
写真 2.3-2 果実核（桃）の断面性状



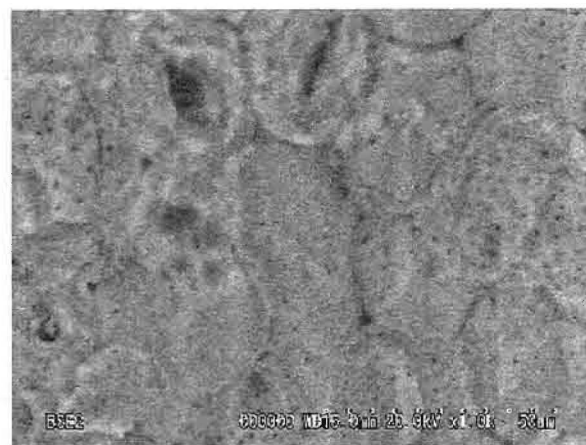
(a) ×100 の場合



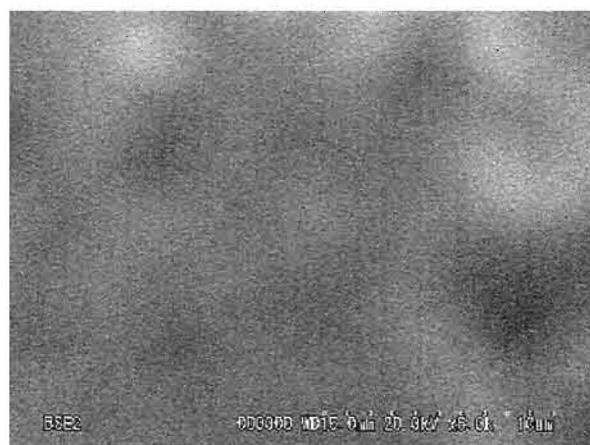
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

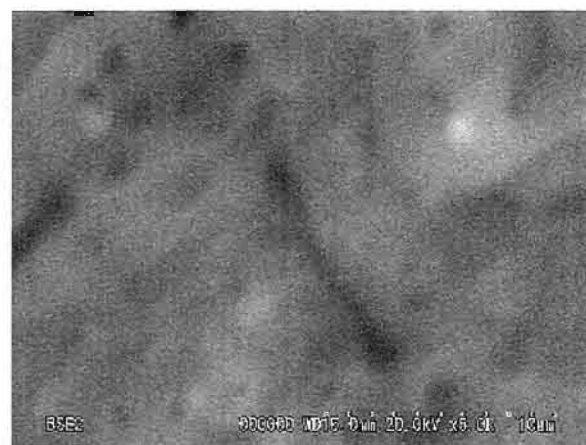


(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

写真 2.3-3 果実核（梅）の表面性状



(c) ×10000 の場合

写真 2.3-4 果実核（梅）の断面性状

2.3.2 実験の結果（実験 2：炭化温度が果実核の性質に及ぼす影響）

A. 元素組成

蛍光 X 線分析および有機微量元素分析の測定結果を、それぞれ表 2.3-10 および表 2.3-11 に示す。表の (a) は果実核（桃）、および、(b) は果実核（梅）の場合である。また、C/O および C/H との関係を、それぞれ図 2.3-3 および図 2.3-4 に示す。

炭化温度の上昇とともに C/O および C/H は増加する傾向にあった。また、比較用の炭化物（市販品）は、400℃で炭化したものに近い値を示した。

表 2.3-10 蛍光 X 線分析の結果

(a) 果実核（桃）の場合

試料名	質量濃度 [mass%]							
炭化物200（桃）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	5.68E+01	4.14E+01	3.14E-01	1.34E-01	3.03E-01	4.13E-01	8.19E-02	7.83E-02
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
炭化物300（桃）	5.96E-02	2.29E-01	1.56E-01	-	-	3.57E-03	-	
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	8.00E+01	1.87E+01	4.39E-02	2.01E-01	7.48E-02	1.19E-01	8.24E-02	2.13E-02
炭化物400（桃）	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
	-	5.31E-01	2.16E-01	2.32E-03	1.72E-03	1.81E-03	3.89E-03	
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
炭化物500（桃）	8.05E+01	1.82E+01	5.26E-02	1.44E-01	8.47E-02	1.32E-01	5.84E-02	1.85E-02
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
	-	3.55E-01	3.79E-01	2.49E-02	1.38E-03	1.74E-03	2.48E-03	
炭化物600（桃）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	8.72E+01	1.13E+01	8.14E-02	1.47E-01	8.29E-02	1.27E-01	4.80E-02	1.72E-02
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
炭化物700（桃）	-	7.52E-01	2.98E-01	2.29E-02	1.70E-03	2.77E-03	2.62E-03	
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	8.72E+01	1.13E+01	8.14E-02	1.47E-01	8.29E-02	1.27E-01	4.80E-02	1.72E-02
炭化物800（桃）	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
	1.03E-02	5.82E-01	4.06E-01	2.54E-02	1.17E-03	2.03E-03	4.96E-03	
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
炭化物900（桃）	9.10E+01	7.82E+00	8.55E-02	8.48E-02	4.68E-02	7.09E-02	5.26E-02	1.02E-02
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
	5.13E-03	6.00E-01	2.33E-01	1.58E-02	1.02E-03	2.25E-03	1.86E-03	
炭化物1000（桃）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	9.13E+01	7.47E+00	9.52E-02	1.02E-01	5.25E-02	8.94E-02	6.80E-02	6.93E-03
	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn	
炭化物1100（桃）	-	5.51E-01	2.88E-01	1.48E-02	1.27E-03	2.50E-03	5.27E-03	

(b) 果実核（梅）の場合

試料名	質量濃度 [mass%]							
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
炭化物200（梅）	5.18E+01	4.54E+01	9.71E-01	2.15E-01	6.94E-02	1.29E-01	2.33E-01	1.07E-01
	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
	8.09E-01	5.87E-02	1.25E-01	-	-	-	-	-
炭化物300（梅）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	6.89E+01	3.01E+01	3.86E-01	5.33E-02	6.66E-02	1.37E-01	1.12E-01	1.09E-01
	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
炭化物400（梅）	6.52E-02	3.48E-02	7.27E-02	-	-	-	2.44E-03	-
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	7.90E+01	1.30E+01	4.11E+00	1.36E-01	1.65E-02	2.96E-02	2.28E-01	5.41E-02
炭化物500（梅）	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
	2.92E+00	1.27E-01	3.32E-01	-	-	3.11E-03	-	2.51E-03
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
炭化物600（梅）	7.98E+01	1.06E+01	5.42E+00	1.87E-01	2.38E-02	5.66E-02	2.17E-01	9.24E-02
	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
	3.34E+00	1.34E-01	1.48E-01	-	-	4.06E-03	-	2.25E-03
炭化物700（梅）	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	8.65E+01	1.03E+01	1.37E+00	9.71E-02	2.36E-02	4.52E-02	8.66E-02	5.26E-02
	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
炭化物800（梅）	1.35E+00	7.76E-02	8.94E-02	4.23E-03	2.40E-03	1.78E-03	-	1.77E-03
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
	8.79E+01	1.16E+01	2.22E-01	3.21E-02	1.12E-02	2.34E-02	5.40E-02	4.25E-02
炭化物900（梅）	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
	3.64E-02	2.74E-02	5.18E-02	-	-	1.36E-03	-	-
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S
炭化物1000（梅）	9.09E+01	7.00E+00	1.13E+00	6.22E-02	3.23E-02	4.93E-02	1.94E-01	3.66E-02
	Cl	K	Ca	Cr	Zn	Br	Rb	Sr
	4.09E-01	6.50E-02	9.60E-02	-	-	-	-	1.68E-03

表 2.3-11 有機微量元素分析の結果

試料名	質量濃度 [mass%]		
	C	H	N
炭化物200 (桃)	48.4	6.16	0.150
炭化物300 (桃)	70.7	3.86	0.295
炭化物400 (桃)	70.6	3.60	0.300
炭化物500 (桃)	78.6	3.11	0.355
炭化物600 (桃)	85.1	2.35	0.330
炭化物700 (桃)	85.4	1.43	0.280
炭化物800 (桃)	84.4	1.04	0.240
炭化物200 (梅)	51.8	6.03	0.320
炭化物300 (梅)	62.4	5.82	0.765
炭化物400 (梅)	73.7	3.87	2.50
炭化物500 (梅)	83.2	2.79	1.57
炭化物600 (梅)	86.1	2.07	1.94
炭化物700 (梅)	86.9	1.48	1.23
炭化物800 (梅)	90.2	0.680	1.30
炭化物 (市販品)	73.5	3.99	0.420
備長炭	86.7	0.865	0.315

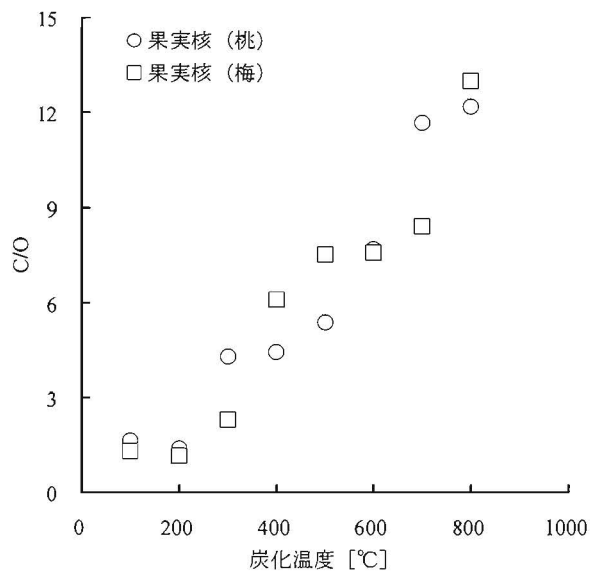


図 2.3-3 炭化温度と C/O との関係

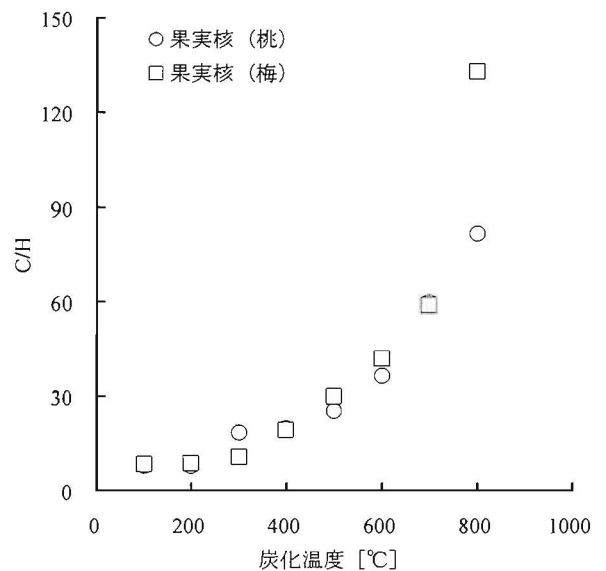


図 2.3-4 炭化温度と C/H との関係

B. 懸濁液の pH

懸濁液の pH の測定結果を表 2.3-12 に示す。また、炭化温度と懸濁液との関係を図 2.3-5 に示す。

炭化前の試料の pH は 4~6 程度 (酸性) であったが、炭化温度の上昇とともに pH は増加し、800°C による炭化によって pH は 9 以上 (アルカリ性) を示した。また、比較用の炭化物 (市販品) は、400~500°C で炭化したものに近い値を示した。

表 2.3-12 懸濁液の pH の測定結果

試料名	pH
炭化物200 (桃)	5.1
炭化物300 (桃)	5.4
炭化物400 (桃)	5.2
炭化物500 (桃)	6.9
炭化物600 (桃)	7.9
炭化物700 (桃)	8.6
炭化物800 (桃)	9.0
炭化物200 (梅)	3.7
炭化物300 (梅)	5.3
炭化物400 (梅)	6.5
炭化物500 (梅)	7.5
炭化物600 (梅)	9.4
炭化物700 (梅)	9.5
炭化物800 (梅)	9.8
炭化物 (市販品)	6.7
備長炭	10.7

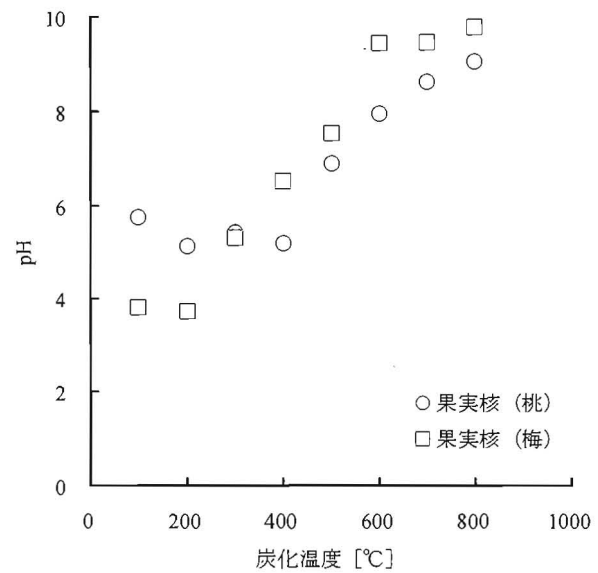


図 2.3-5 炭化温度と懸濁液の pH との関係

C. 真密度

真密度の測定結果を表 2.3-13 に示す。また、炭化温度と真密度との関係を図 2.3-6 に示す。

いずれの果実核についても、真密度は、最高温度が高い場合ほど減少する傾向にあり、炭化によって分子構造上の変化が生じていることが示唆される。

表 2.3-13 真密度の測定結果

試料名	真密度 [g/cm^3]
炭化物200 (桃)	1.42
炭化物300 (桃)	1.33
炭化物400 (桃)	1.32
炭化物500 (桃)	1.31
炭化物600 (桃)	1.26
炭化物700 (桃)	1.20
炭化物800 (桃)	1.19
炭化物200 (梅)	1.41
炭化物300 (梅)	1.36
炭化物400 (梅)	1.34
炭化物500 (梅)	1.34
炭化物600 (梅)	1.33
炭化物700 (梅)	1.34
炭化物800 (梅)	1.32
炭化物 (市販品)	1.39
備長炭	1.96

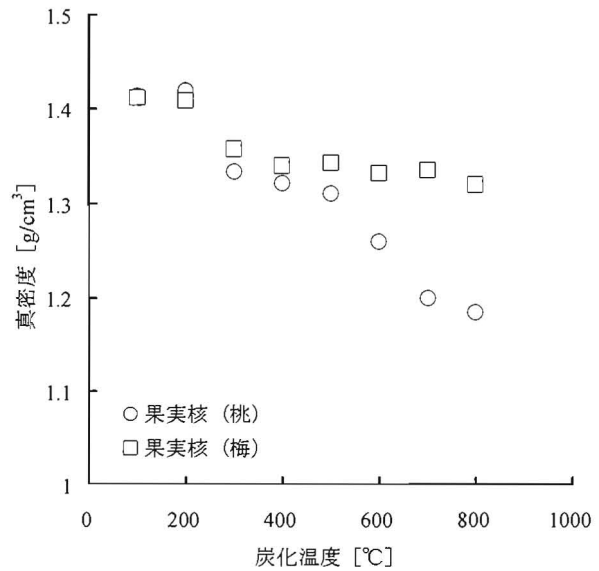


図 2.3-6 炭化温度と真密度との関係

D. 細孔径分布

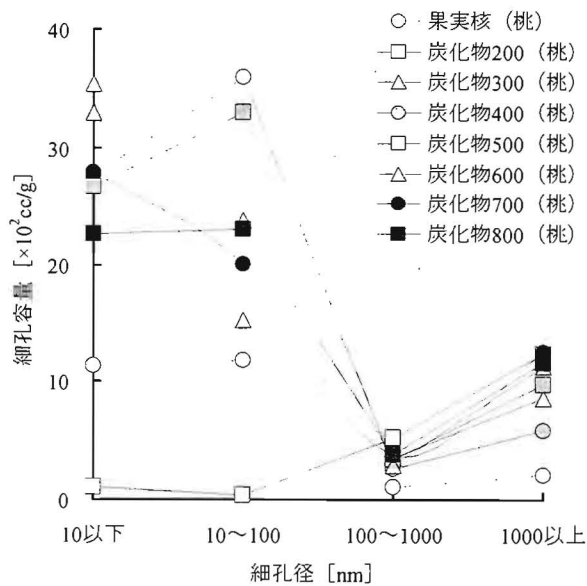
細孔径を 10nm 以下、10～100nm、100～1000nm および 1000nm 以上の 4 つに区分し、それぞれの区分における細孔容量を表 2.3-14 に示す。また、炭化温度と区分毎の細孔容量との関係を図 2.3-7 に示す。図の (a) は果実核 (桃)、(b) は果実核 (梅)、(c) は炭化物 (市販品) および備長炭の場合である。

果実核 (桃) については、全細孔量は 300°C での炭化によって著しく増加するものの、最高温度の上昇とともに減少する傾向にあった。細孔直径 10nm 以下の微細孔について、比較的低温の 500°C 以下で炭化した場合に細孔量の増加が顕著であったが、最高温度が 600°C を超えると微細孔の細孔量は減少するとともに 100nm 以上の細孔が増加していることから、組織の肥大化が示唆される。

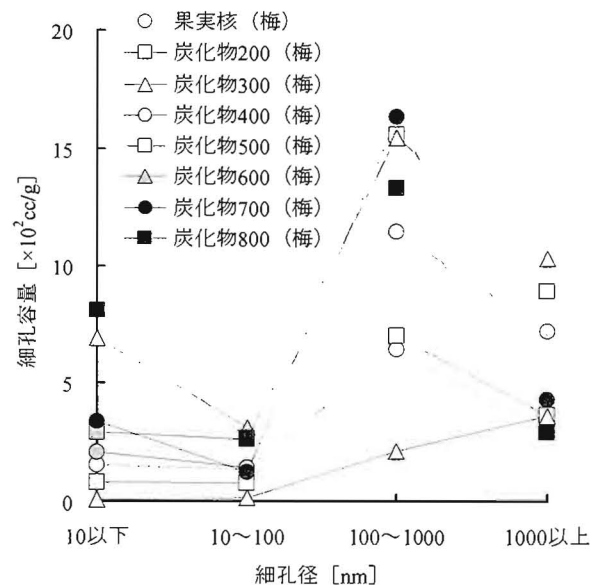
果実核 (梅) については、最高温度の上昇とともに細孔直径 10nm 以下の微細孔は増加する傾向にあった。

表 2.3-14 区分ごとの細孔容量

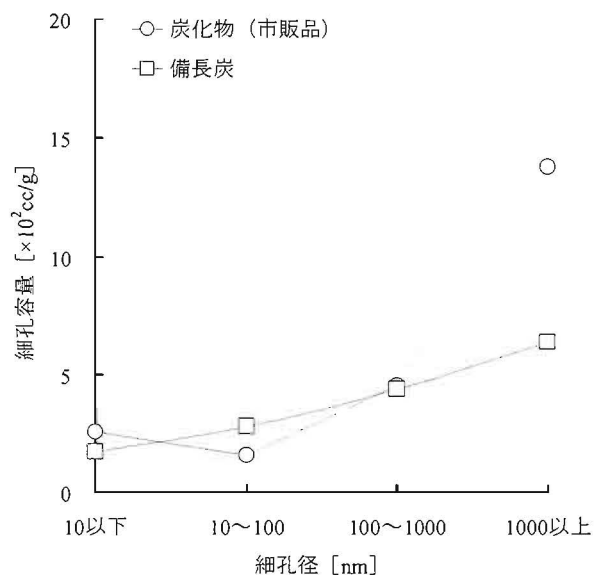
試料名	細孔量 [$\times 10^2$ cc/g]				合計
	10 nm 以下	10 - 100 nm	100 - 1000 nm	1000 nm 以上	
炭化物200 (桃)	1.1	0.4	5.2	12.3	19.0
炭化物300 (桃)	35.4	23.8	3.5	8.6	71.4
炭化物400 (桃)	27.7	35.9	2.6	5.9	72.1
炭化物500 (桃)	26.7	33.0	3.4	9.7	72.7
炭化物600 (桃)	33.0	15.2	2.9	11.2	62.3
炭化物700 (桃)	27.9	20.1	3.8	12.5	64.3
炭化物800 (桃)	22.6	23.1	3.8	11.5	61.0
炭化物200 (梅)	0.8	0.8	7.0	3.6	12.2
炭化物300 (梅)	0.1	0.1	2.1	3.6	5.9
炭化物400 (梅)	2.1	1.4	11.5	7.2	22.1
炭化物500 (梅)	2.9	2.6	15.6	8.9	30.0
炭化物600 (梅)	6.9	3.1	15.4	10.3	35.8
炭化物700 (梅)	3.4	1.2	16.3	4.3	25.2
炭化物800 (梅)	8.1	2.6	13.3	2.9	26.9
炭化物 (市販品)	2.6	1.6	4.5	13.8	22.5
備長炭	1.7	2.8	4.4	6.4	15.3



(a) 果実核 (桃) の場合



(b) 果実核 (梅) の場合



(c) 炭化物（市販品）および備長炭の場合

図 2.3-7 区分ごとの細孔径と細孔容量との関係

E. 密度および吸水率

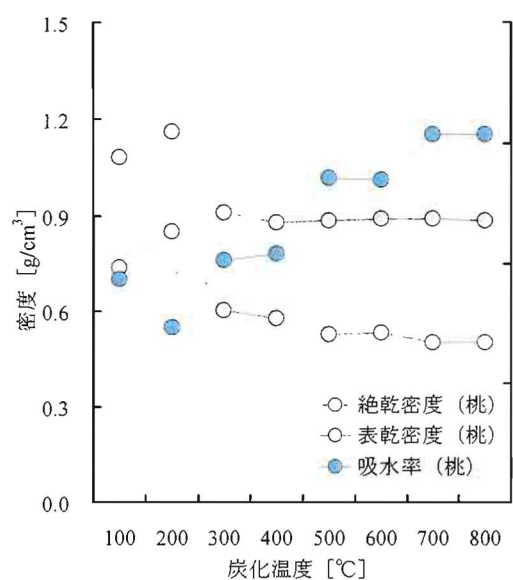
密度および吸水率の測定結果を表 2.3-15 に示す。また、炭化温度と密度および吸水率との関係を図 2.3-8 に示す。図の (a) は果実核（桃）、(b) は果実核（梅）の場合である。

果実核（桃）は、炭化温度 200℃では絶乾密度および表乾密度は増加し、吸水率は減少した。炭化温度 300℃以上になると、炭化温度の上昇とともに絶乾密度および表乾密度は減少し、吸水率は増加する傾向にあった。特に、炭化温度 500℃付近では絶乾密度および吸水率の変化が大きく、組織上の変化が示唆される。果実核（梅）は、炭化温度の上昇とともに絶乾密度および表乾密度は減少し、吸水率は増加する傾向にあった。

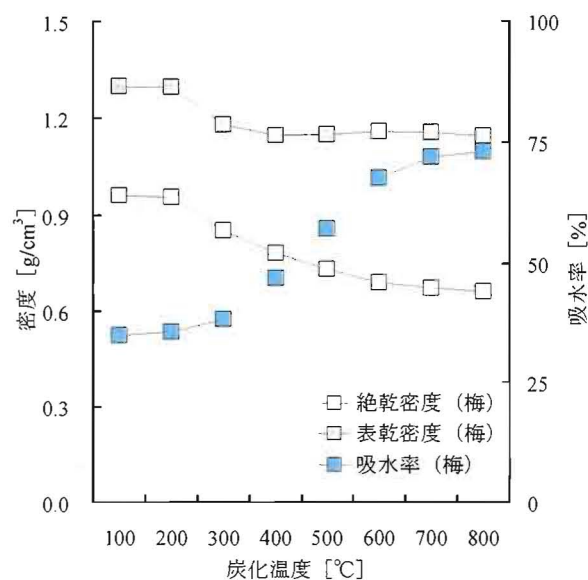
比較用の炭化物（市販品）は、果実核の炭化物と比較すると絶乾密度および表乾密度は高く、吸水率は低い値を示した。

表 2.3-15 密度および吸水率の測定結果

試料名	絶乾密度 [g/cm ³]	表乾密度 [g/cm ³]	吸水率 [%]
炭化物200 (桃)	0.85	1.16	36.6
炭化物300 (桃)	0.60	0.91	50.7
炭化物400 (桃)	0.58	0.88	52.0
炭化物500 (桃)	0.53	0.88	67.8
炭化物600 (桃)	0.53	0.89	67.4
炭化物700 (桃)	0.50	0.89	76.7
炭化物800 (桃)	0.50	0.89	76.7
炭化物200 (梅)	0.95	1.30	35.8
炭化物300 (梅)	0.85	1.18	38.3
炭化物400 (梅)	0.78	1.15	47.0
炭化物500 (梅)	0.73	1.15	57.2
炭化物600 (梅)	0.69	1.16	67.7
炭化物700 (梅)	0.67	1.16	71.9
炭化物800 (梅)	0.66	1.14	73.1
炭化物 (市販品)	0.94	1.18	25.2
備長炭	1.08	1.21	12.0



(a) 果実核 (桃) の場合



(b) 果実核 (梅) の場合

表 2.3-8 炭化温度と密度および吸水率との関係

F. 吸着性能

吸着性能に関する試験結果を表 2.3-16 に示す。また、経過時間と各汚染気体の残留濃度との関係を図 2.3-9 (ホルムアルデヒドの場合)、図 2.3-10 (アンモニアの場合)、図 2.3-11 (トルエンの場合) および図 2.3-12 (キシレンの場合) に示す。各図の (a) は果実核 (桃)、(b) は果実核 (梅)、(c) は炭化物 (市販品) および備長炭の場合である。

1) ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドの吸着速度は、300°C以上の炭化によって著しく向上していることがわかる。果実核 (桃) の炭化物では、初期の濃度減少は、未炭化のものおよび備長炭と比較し迅速で、60 分経過の時点で注入したホルムアルデヒドをほぼ完全に吸収した。備長炭では、未炭化の果実核よりも初

期の濃度減少は迅速であったが、120 分経過の時点で濃度はおよそ 3ppm でほぼ一定となった。以上より、果実核の炭化物は、未炭化のものおよび備長炭よりも優れたホルムアルデヒドの吸着性能を有することを確認できた。

2) アンモニア

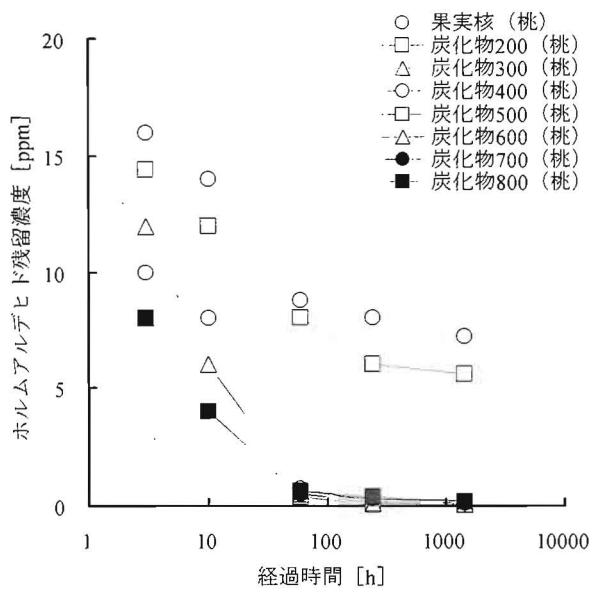
備長炭と比較して、未炭化の果実核およびその炭化物は、アンモニア吸着性能に優れていた。未炭化の果実核に比して、300～600℃の比較的低温で炭化したものではアンモニアの吸着速度は増加したが、700 および 800℃の高温で炭化した場合では、逆に吸着速度は減少する傾向が認められた。

3) トルエン

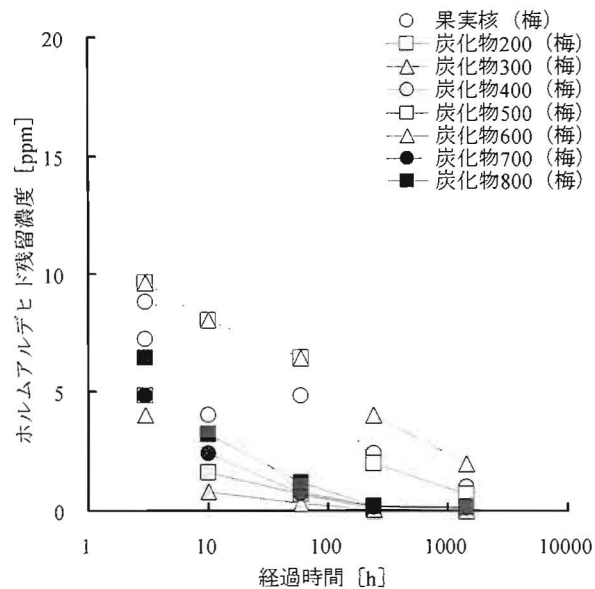
吸着量に及ぼす炭化温度の影響は、炭化温度の上昇とともに吸着量は増加する傾向にあった。備長炭に比較し、400～800℃の高温で炭化した果実核ではトルエンの吸着性能が高く、未炭化の果実核や 200～400℃の比較的低温で炭化した果実核では吸着性能は低くなる結果となった。

4) キシレン

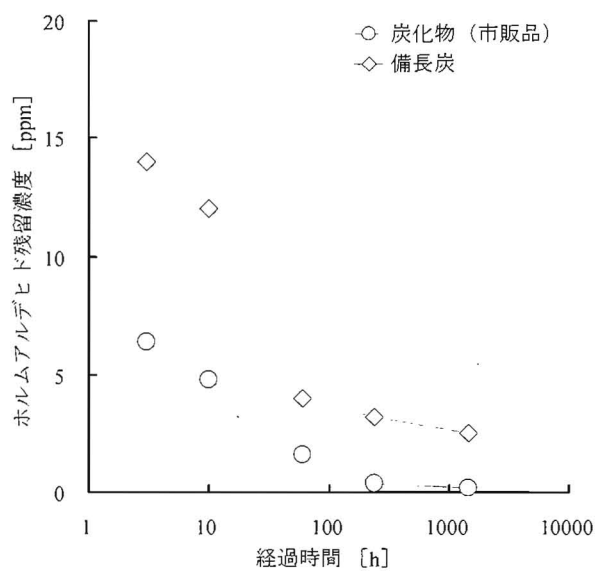
キシレンの吸着性能は、トルエンの場合に類似した傾向を示した。備長炭に比して、果実核の炭化物の吸着性能は、高温で炭化した場合では高く、低温で炭化した場合では低くなる結果となった。



(a) 果実核（桃）の場合

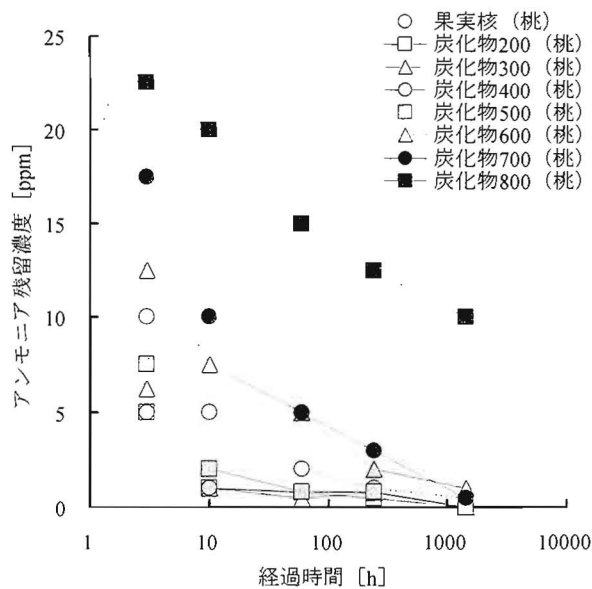


(b) 果実核（梅）の場合

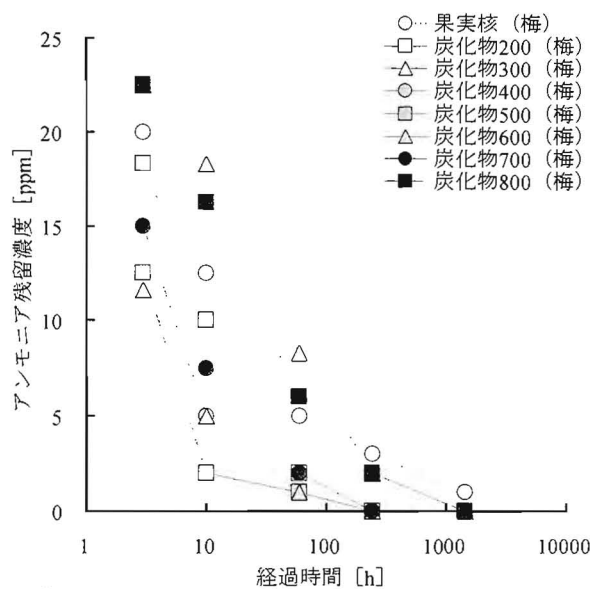


(c) 炭化物（市販品）および備長炭の場合

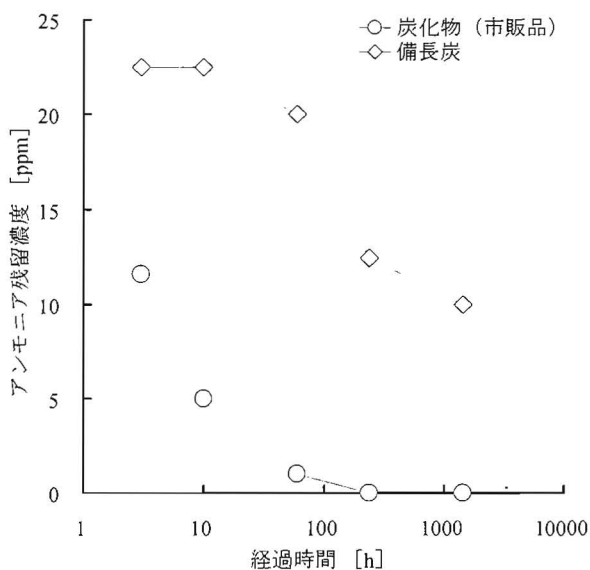
図 2.3-9 経過時間と汚染気体残留濃度との関係（ホルムアルデヒドの場合）



(a) 果実核 (桃) の場合

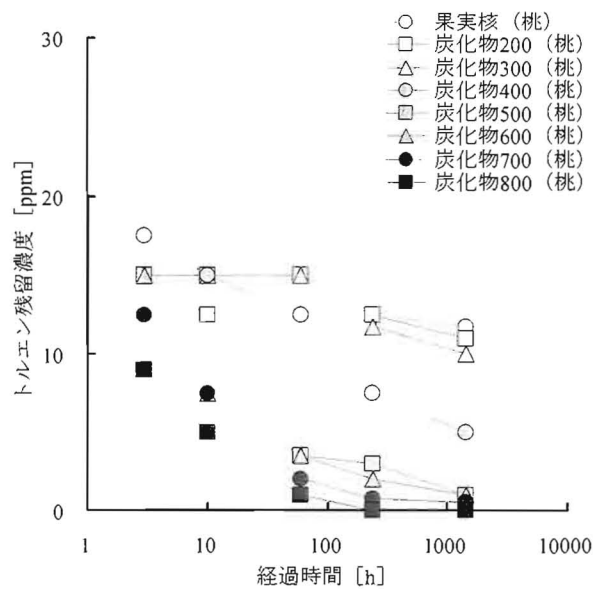


(b) 果実核 (梅) の場合

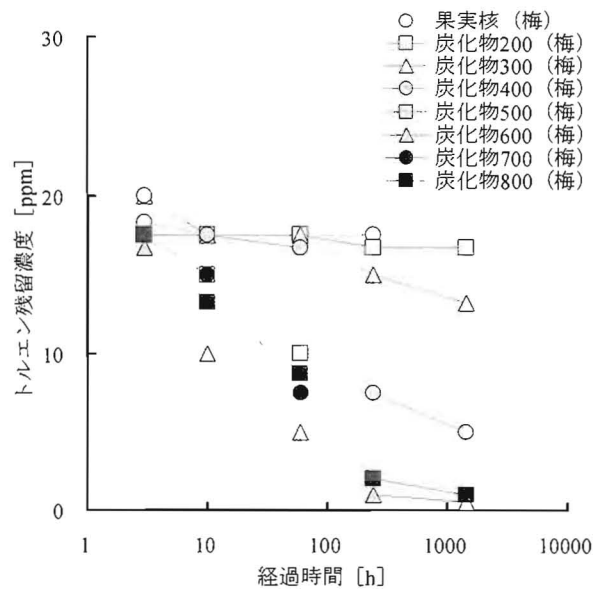


(c) 炭化物 (市販品) および備長炭の場合

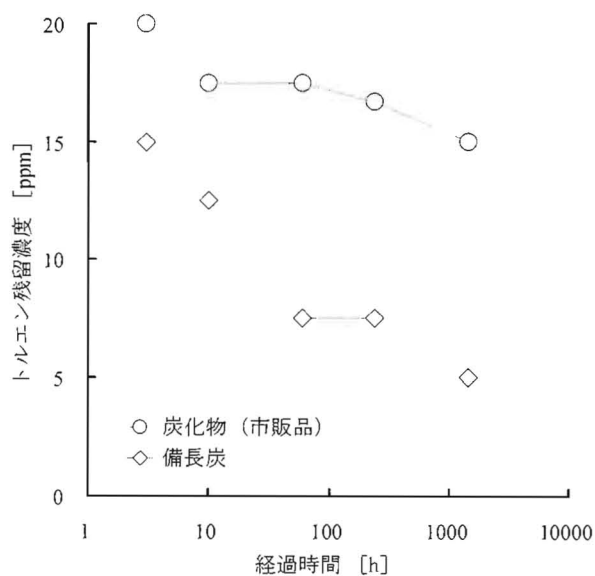
図 2.3-10 経過時間と汚染気体残留濃度との関係 (アンモニアの場合)



(a) 果実核 (桃) の場合

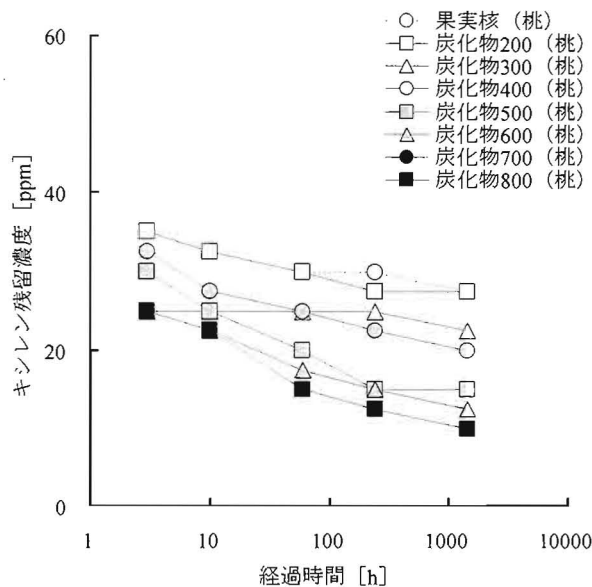


(b) 果実核 (梅) の場合

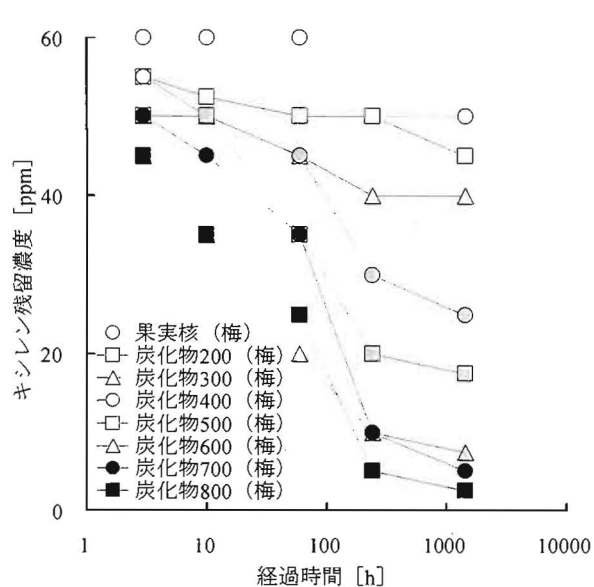


(c) 炭化物 (市販品) および備長炭の場合

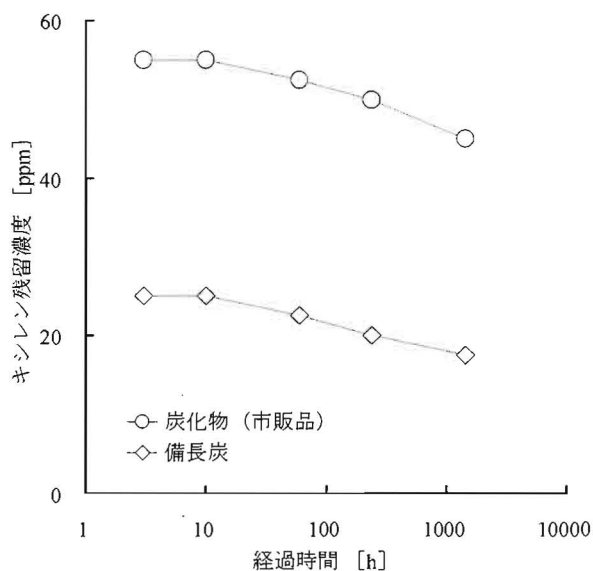
図 2.3-11 経過時間と汚染気体残留濃度との関係 (トルエンの場合)



(a) 果実核 (桃) の場合



(b) 果実核 (梅) の場合



(c) 炭化物 (市販品) および備長炭の場合

図 2.3-12 経過時間と汚染気体残留濃度との関係 (キシレンの場合)

G. 質量減少率

質量減少率の測定結果を表 2.3-17 に示す。また、炭化温度と質量減少率との関係を図 2.3-13 に示す。

いずれの試料も炭化温度 200℃では質量減少率に大きな変化はみられないが、果実核 (桃) では 300℃、果実核 (梅) では 300～400℃付近で質量減少率は著しく増加しており、この付近の温度で炭化を始めたものと示唆される。

表 2.3-17 質量減少率の測定結果

試料名	質量減少率 [%]
炭化物200 (桃)	1.18
炭化物300 (桃)	58.2
炭化物400 (桃)	59.5
炭化物500 (桃)	66.3
炭化物600 (桃)	70.7
炭化物700 (桃)	72.0
炭化物800 (桃)	72.7
炭化物200 (梅)	3.15
炭化物300 (梅)	27.7
炭化物400 (梅)	61.6
炭化物500 (梅)	69.2
炭化物600 (梅)	72.8
炭化物700 (梅)	74.0
炭化物800 (梅)	74.3

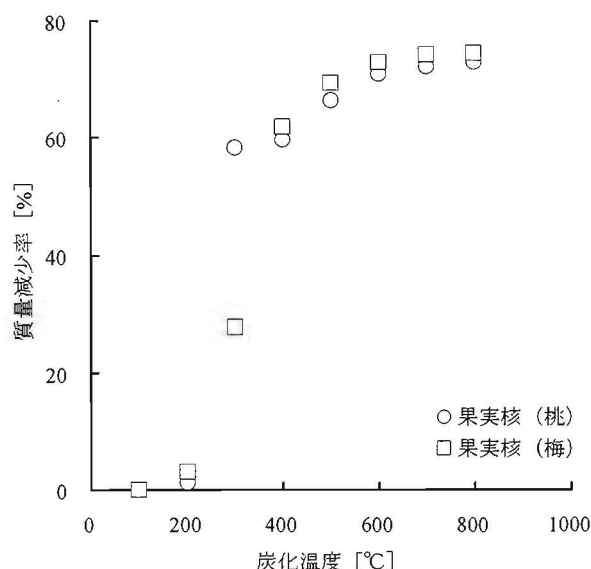


図 2.3-13 炭化温度と質量減少率との関係

H. 粒径分布

粒径分布の測定結果を表 2.3-18 に示す。また、炭化温度と粒径との関係を図 2.3-14 に示す。図の (a) は長手方向、(b) は短手方向、(c) は長さ方向の場合である。さらに、炭化による体積の収縮率を把握するため、粒子体積を簡易的に上記の 3 軸方向の寸法の積として求め、これと炭化温度との関係を図 2.3-15 に示す。図の (a) は果実核 (桃)、(b) は果実核 (梅) の場合である。

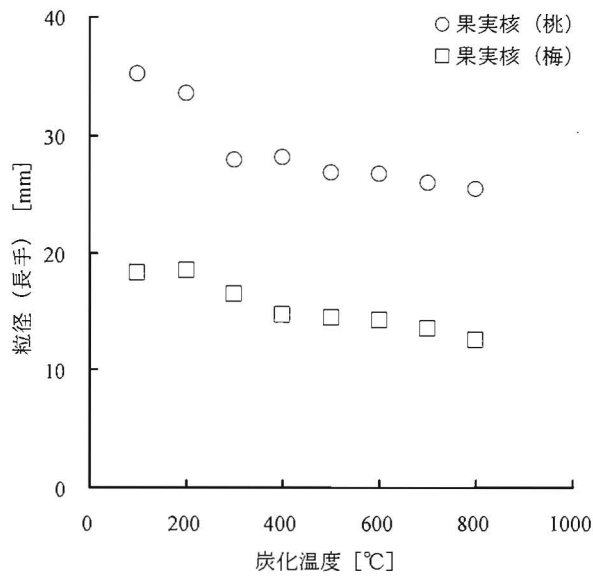
炭化温度と粒径の関係については、炭化温度の上昇とともに、同程度の勾配で直線的に寸法は減少した。体積分布に及ぼす炭化温度の影響については、炭化温度の上昇とともに体積は減少した。

炭化物 (市販品) の寸法および体積分布は、炭化温度 400°C の果実核に近い値を示した。

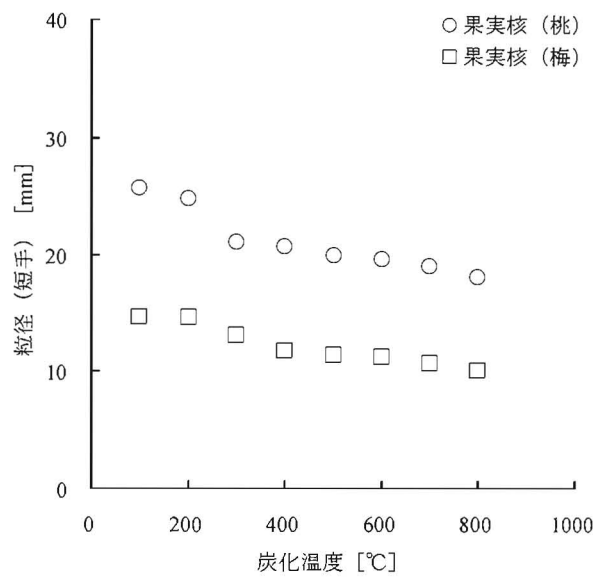
表 2.3-18 粒径分布の測定結果

試料名	長さ [mm]			厚さ方向を基準とした寸法比率	
	長手方向	短手方向	厚さ方向	長手方向	短手方向
炭化物200 (桃)	33.62 (7.05 %)	24.79 (8.94 %)	17.94 (8.29 %)	1.88 (9.78 %)	1.39 (9.45 %)
炭化物300 (桃)	28.01 (9.31 %)	21.10 (9.53 %)	15.50 (10.94 %)	1.82 (11.1 %)	1.37 (10.1 %)
炭化物400 (桃)	28.23 (8.38 %)	20.74 (10.12 %)	15.49 (9.87 %)	1.84 (10.6 %)	1.35 (10.6 %)
炭化物500 (桃)	26.87 (7.95 %)	19.93 (9.98 %)	14.59 (10.00 %)	1.86 (10.8 %)	1.37 (9.80 %)
炭化物600 (桃)	26.81 (7.51 %)	19.68 (8.84 %)	14.55 (9.75 %)	1.86 (10.5 %)	1.36 (9.67 %)
炭化物700 (桃)	26.02 (7.63 %)	19.05 (9.67 %)	14.20 (10.85 %)	1.85 (10.8 %)	1.35 (10.2 %)
炭化物800 (桃)	25.54 (8.30 %)	18.09 (8.97 %)	13.48 (11.34 %)	1.91 (10.1 %)	1.35 (10.2 %)
炭化物200 (梅)	18.48 (5.77 %)	14.62 (4.76 %)	10.91 (5.00 %)	1.70 (6.20 %)	1.34 (7.35 %)
炭化物300 (梅)	16.50 (6.71 %)	13.10 (5.49 %)	9.91 (5.03 %)	1.67 (6.53 %)	1.32 (3.87 %)
炭化物400 (梅)	14.73 (6.39 %)	11.77 (5.81 %)	9.08 (4.95 %)	1.62 (6.94 %)	1.30 (5.72 %)
炭化物500 (梅)	14.46 (6.23 %)	11.41 (6.13 %)	8.87 (6.66 %)	1.63 (7.40 %)	1.29 (5.98 %)
炭化物600 (梅)	14.26 (5.96 %)	11.26 (5.55 %)	8.66 (6.83 %)	1.65 (7.03 %)	1.30 (5.41 %)
炭化物700 (梅)	13.55 (7.03 %)	10.72 (6.31 %)	8.45 (6.28 %)	1.61 (7.72 %)	1.27 (6.19 %)
炭化物800 (梅)	12.55 (7.07 %)	10.09 (6.25 %)	7.99 (5.78 %)	1.57 (7.84 %)	1.26 (6.35 %)
炭化物 (市販品)	27.75 (7.13 %)	20.90 (9.07 %)	15.13 (8.89 %)	1.84 (9.41 %)	1.39 (10.0 %)

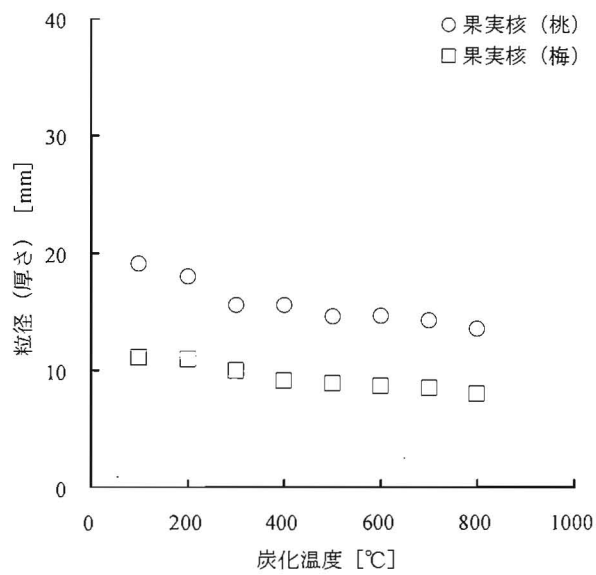
【注】 括弧内は変動係数を示す。



(a) 長手方向の場合

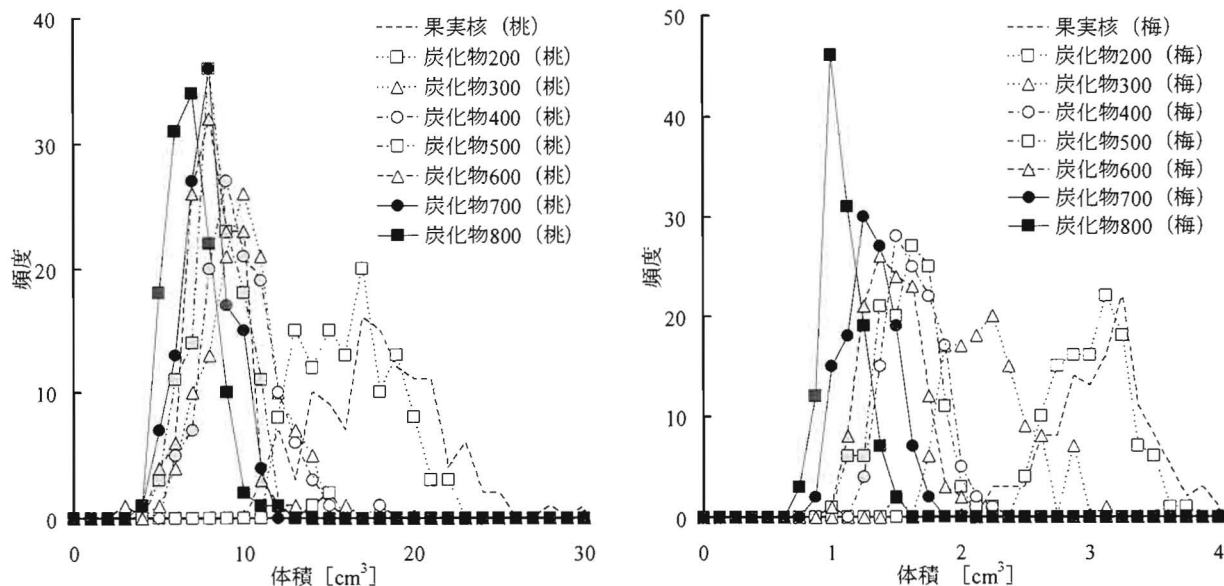


(b) 短手方向の場合



(c) 厚さ方向の場合

図 2.3-14 炭化温度と各方向における粒径との関係



(a) 果実核（桃）の場合

(b) 果実核（梅）の場合

図 2.3-15 体積分布に及ぼす炭化温度の影響

I. 圧壊強度

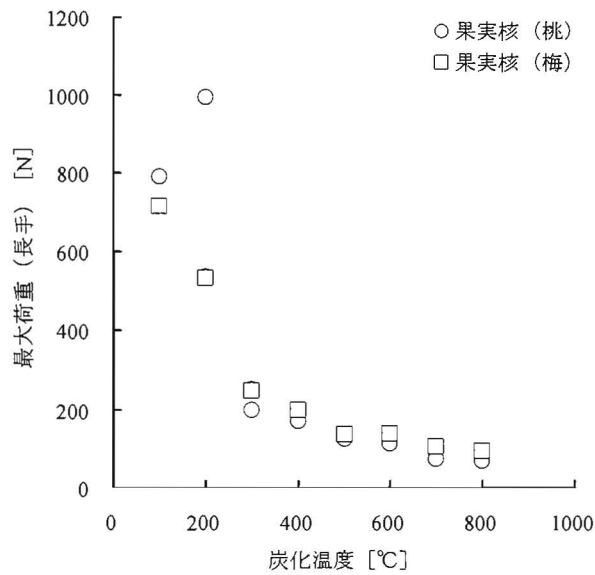
圧壊強度の測定結果を表 2.3-19 に示す。また、炭化温度と圧壊強度との関係を図 2.3-16 に示す。図の (a) は長手方向、(b) は短手方向、(c) は長さ方向の場合である。

炭化温度が最大荷重に及ぼす影響は、炭化温度が上昇するとともに減少した。果実核（桃）において、炭化温度 200℃のものは未炭化のものに比して最大荷重は大きくなるが、300℃以上では大きく減少した。炭化温度 800℃では、未炭化のものに比して最大荷重は 1/10 以下にまで減少した。

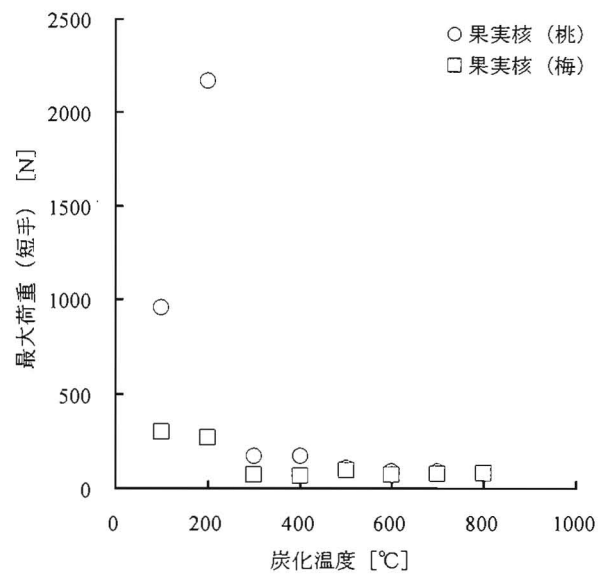
表 2.3-19 圧壊強度の測定結果

試料名	最大荷重 [N]		
	長手方向	短手方向	厚さ方向
炭化物200 (桃)	993.18 (23.0 %)	2168.00 (17.7 %)	1809.45 (7.8 %)
炭化物300 (桃)	198.25 (25.1 %)	173.00 (40.3 %)	181.75 (41.9 %)
炭化物400 (桃)	172.00 (30.3 %)	175.75 (49.5 %)	138.75 (27.7 %)
炭化物500 (桃)	125.50 (39.8 %)	110.00 (36.5 %)	82.25 (43.0 %)
炭化物600 (桃)	113.75 (38.5 %)	93.00 (44.7 %)	81.75 (39.0 %)
炭化物700 (桃)	74.00 (12.9 %)	91.75 (67.5 %)	74.25 (36.5 %)
炭化物800 (桃)	70.25 (36.1 %)	79.25 (44.7 %)	68.25 (27.2 %)
炭化物200 (梅)	532.40 (23.0 %)	267.57 (21.1 %)	295.84 (7.03 %)
炭化物300 (梅)	246.55 (17.9 %)	70.86 (20.6 %)	174.47 (24.6 %)
炭化物400 (梅)	199.39 (15.7 %)	68.65 (15.7 %)	106.19 (16.4 %)
炭化物500 (梅)	135.70 (15.0 %)	96.16 (16.0 %)	101.14 (17.0 %)
炭化物600 (梅)	138.36 (17.4 %)	72.65 (13.3 %)	79.36 (19.9 %)
炭化物700 (梅)	105.32 (27.6 %)	75.92 (8.8 %)	105.77 (18.5 %)
炭化物800 (梅)	93.93 (17.4 %)	83.67 (20.3 %)	76.87 (8.4 %)
炭化物 (市販品)	272.53 (6.46 %)	137.00 (33.4 %)	162.47 (7.32 %)

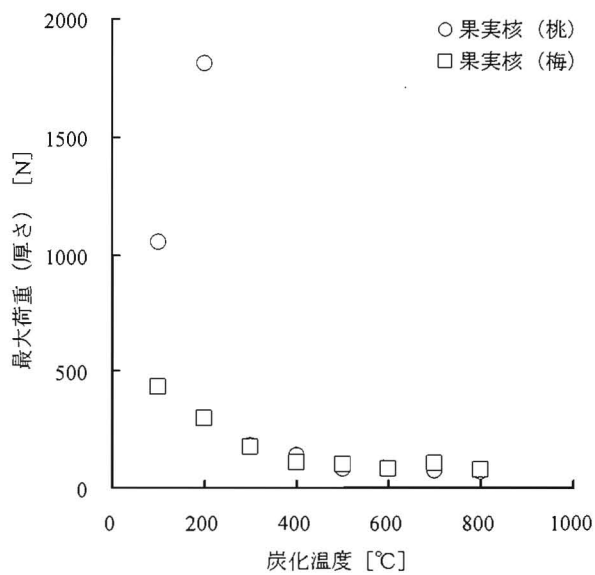
【注】 括弧内は変動係数を示す。



(a) 長手方向の場合



(b) 短手方向の場合



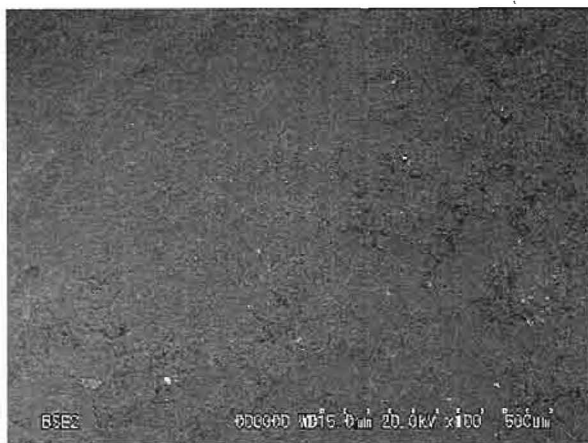
(c) 厚さ方向の場合

表 2.3-16 圧壊強度の測定結果

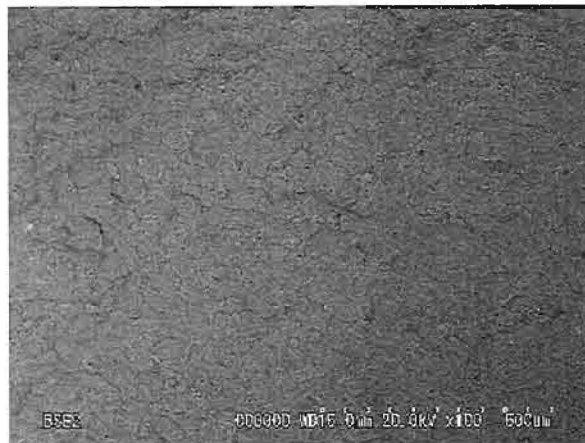
J. 組織観察

表面および断面の組織観察の結果を写真 2.3-5 から写真 2.3-30 に示す。

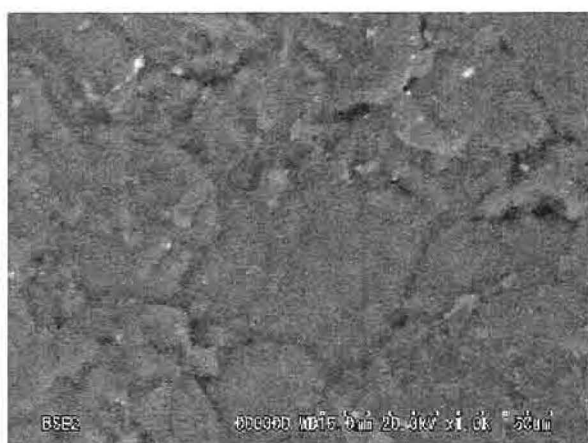
それぞれの果実核について、炭化温度 200°Cでは細孔の確認はできないが、300°Cでは大きな孔が形成され、500°Cでは細孔組織が発達している様子を確認できる。一方で、炭化温度 800°Cになると組織の粗大化がみられた。



(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

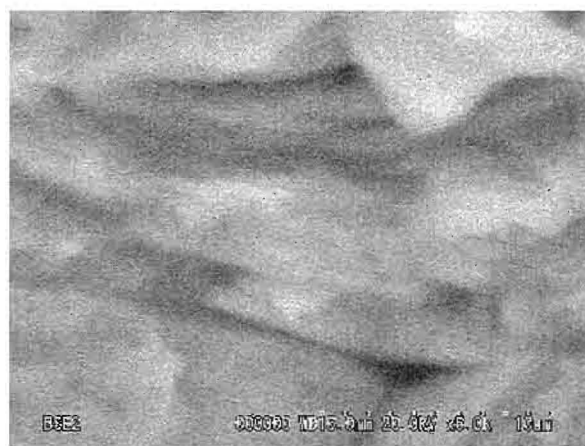


(b) ×1000 の場合



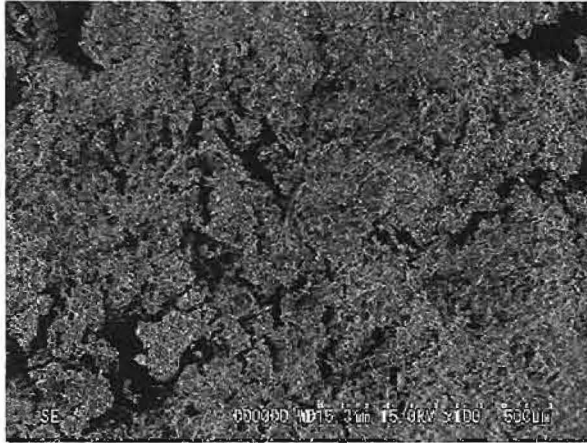
(c) ×10000 の場合

図 2.3-5 炭化物 200 (桃) の表面性状



(c) ×10000 の場合

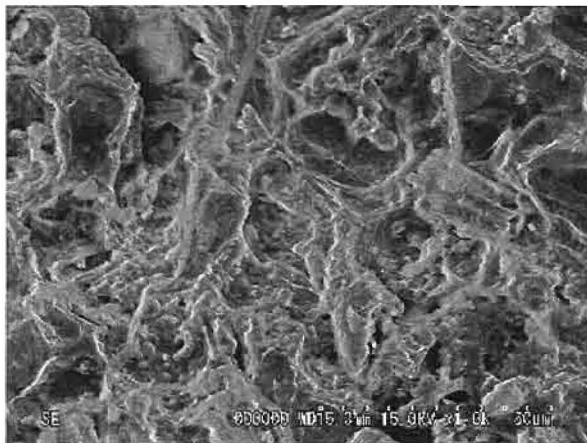
図 2.3-6 炭化物 200 (桃) の断面性状



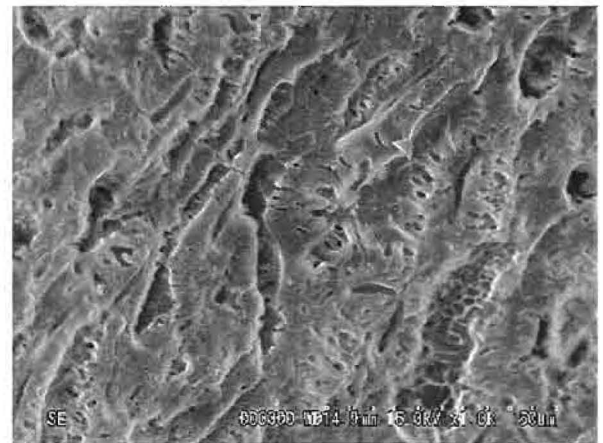
(a) ×100 の場合



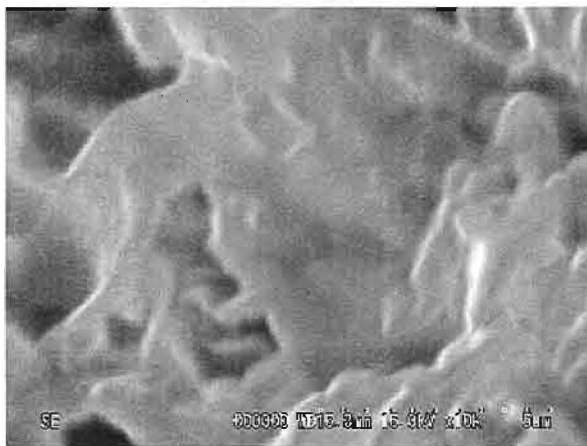
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(b) ×1000 の場合



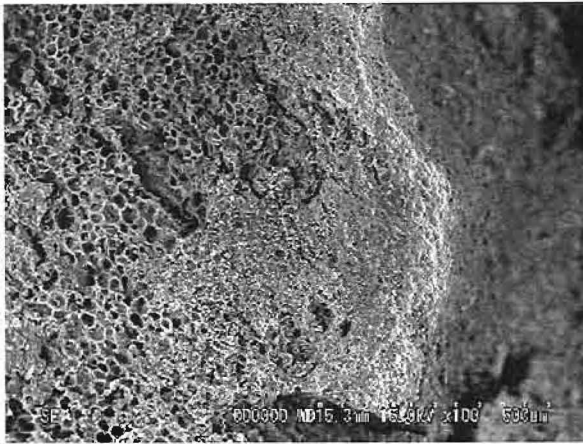
(c) ×10000 の場合



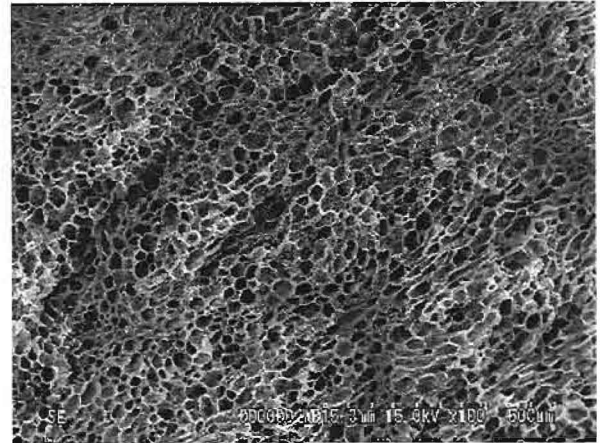
(c) ×10000 の場合

図 2.3-7 炭化物 300 (桃) の表面性状

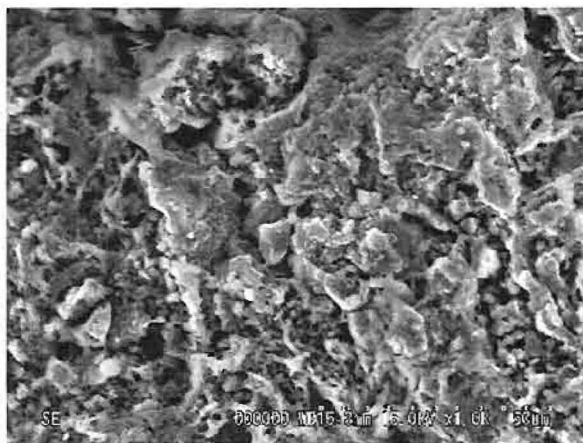
図 2.3-8 炭化物 300 (桃) の断面性状



(a) ×100 の場合



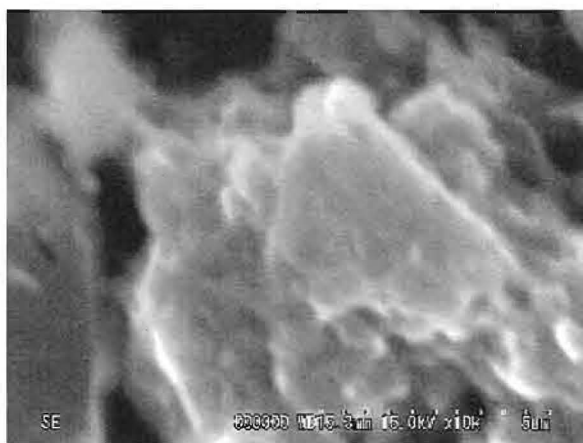
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

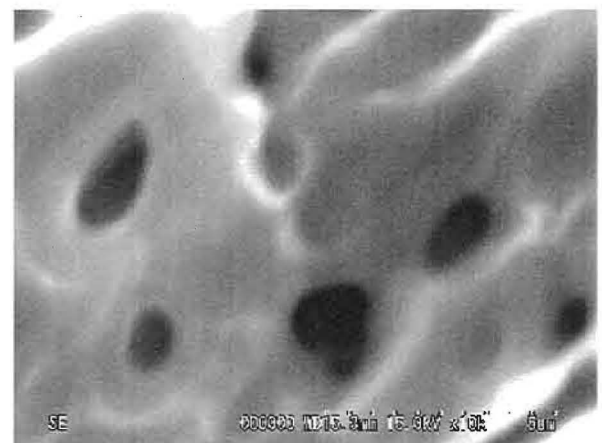


(b) ×1000 の場合



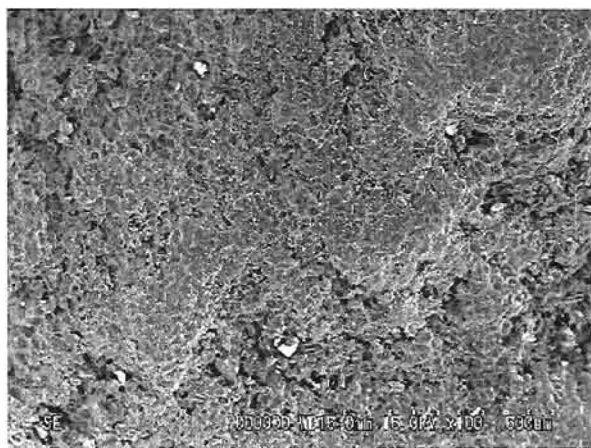
(c) ×10000 の場合

図 2.3-9 炭化物 400 (桃) の表面性状

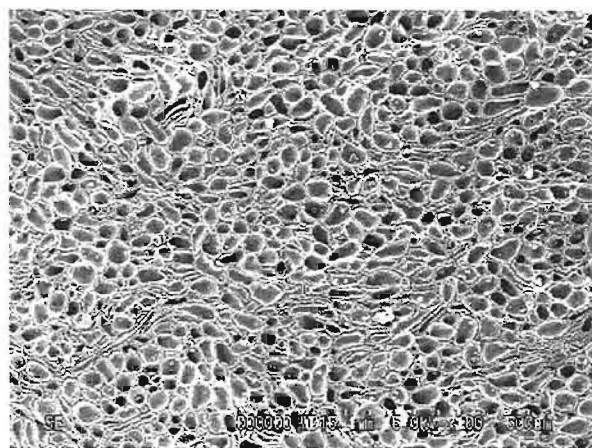


(c) ×10000 の場合

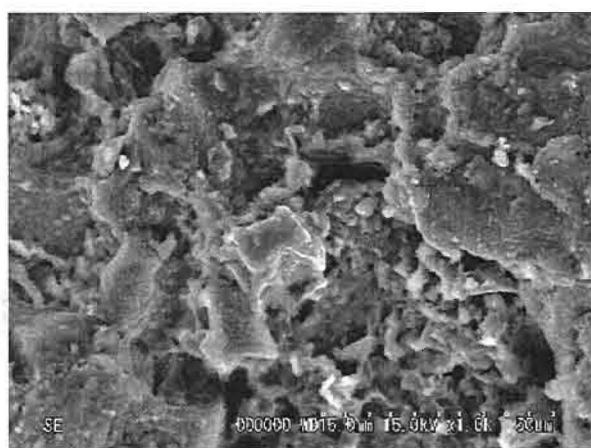
図 2.3-10 炭化物 400 (桃) の断面性状



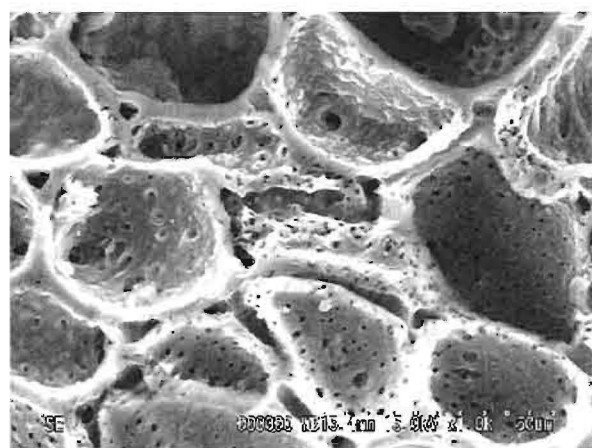
(a) ×100 の場合



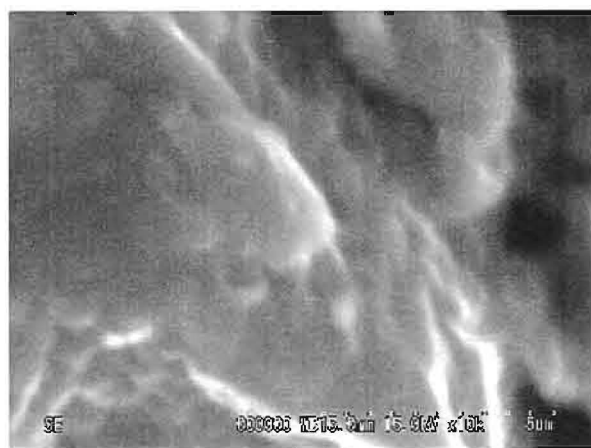
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

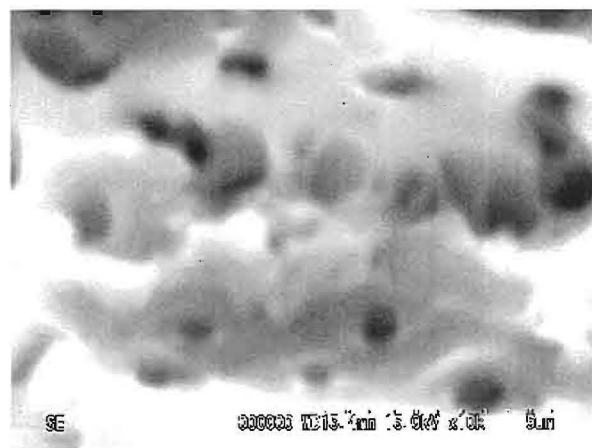


(b) ×1000 の場合



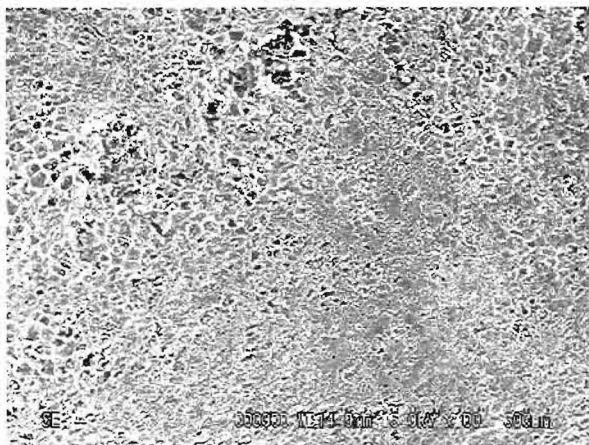
(c) ×10000 の場合

図 2.3-11 炭化物 500 (桃) の表面性状

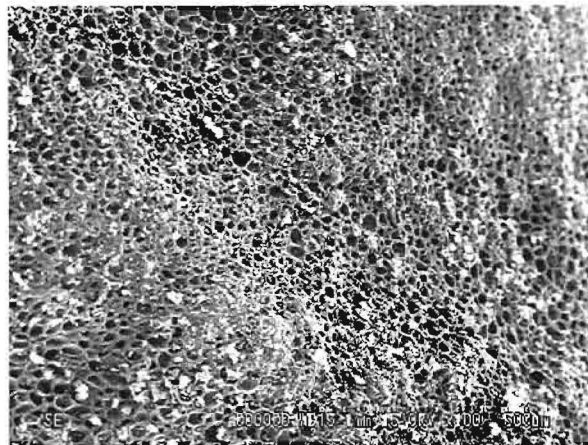


(c) ×10000 の場合

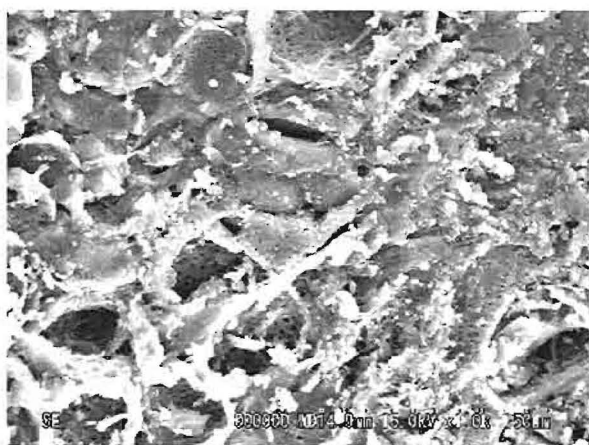
図 2.3-12 炭化物 500 (桃) の断面性状



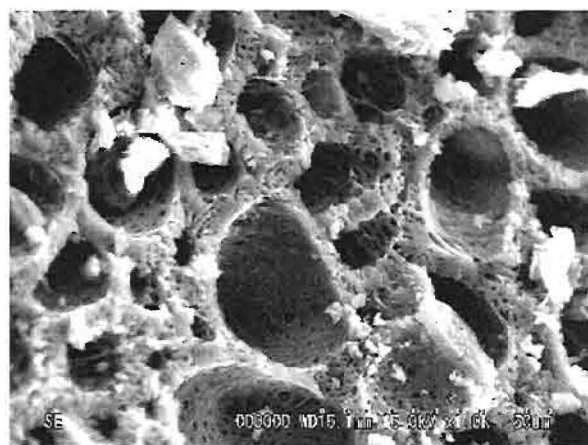
(a) ×100 の場合



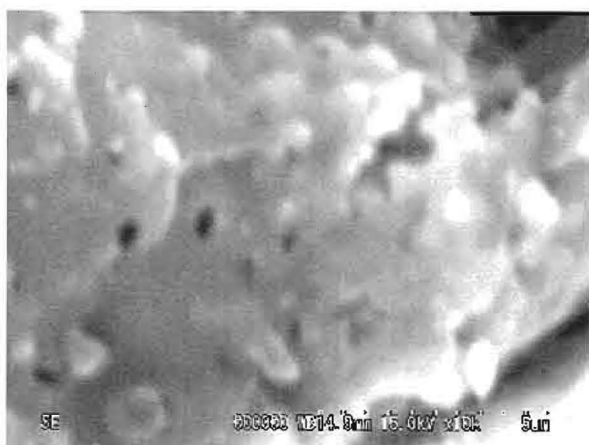
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(b) ×1000 の場合



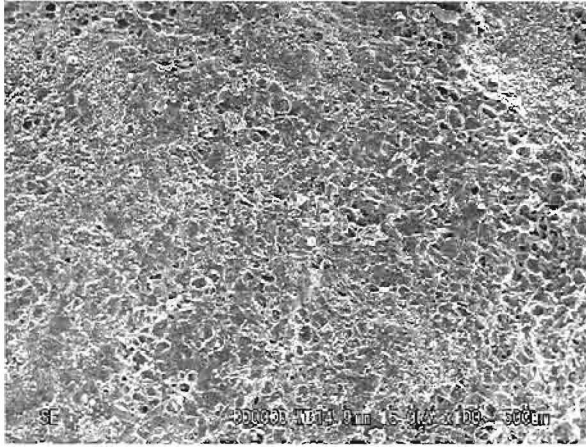
(c) ×10000 の場合

図 2.3-13 炭化物 600 (桃) の表面性状

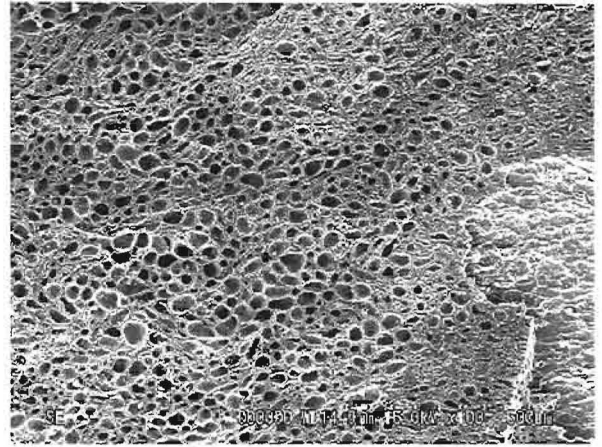


(c) ×10000 の場合

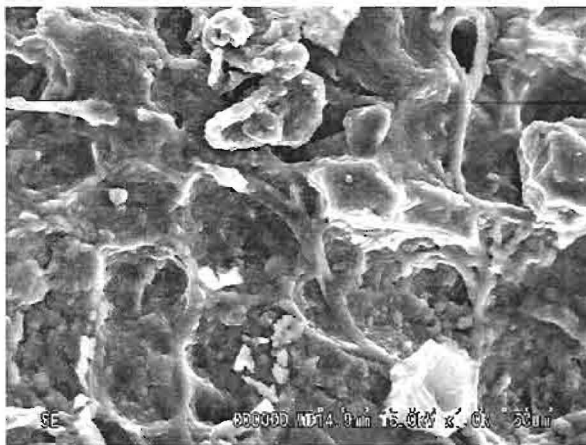
図 2.3-14 炭化物 600 (桃) の断面性状



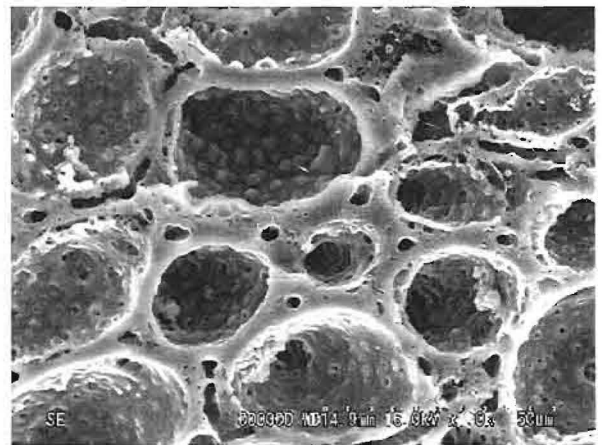
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

図 2.3-15 炭化物 700 (桃) の表面性状

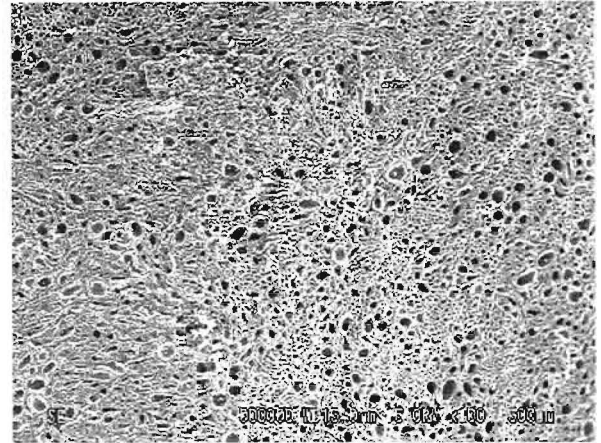


(c) ×10000 の場合

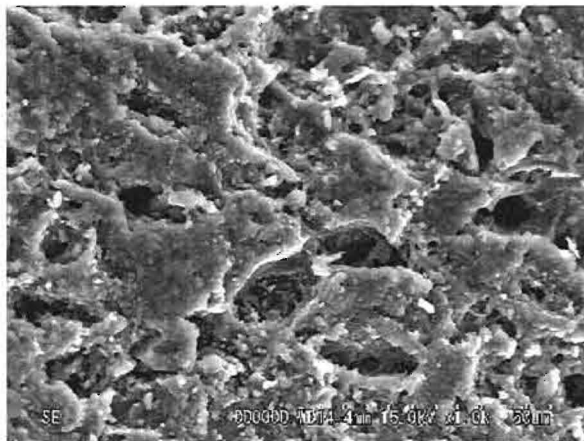
図 2.3-16 炭化物 700 (桃) の断面性状



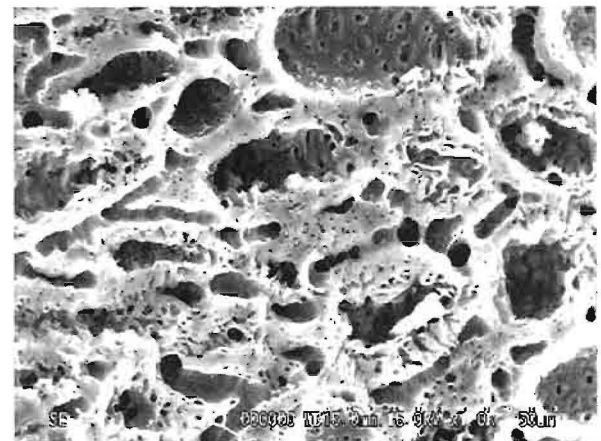
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

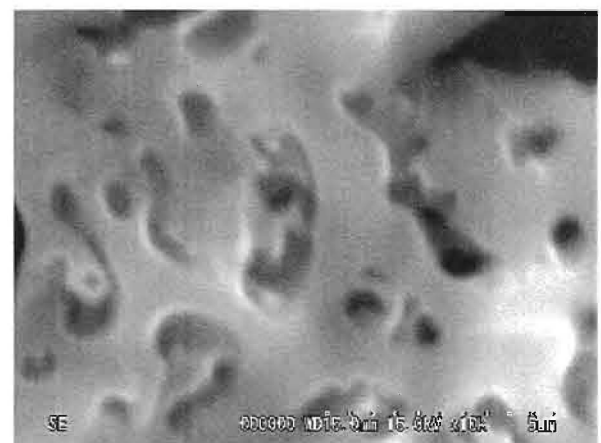


(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

図 2.3.17 炭化物 800 (桃) の表面性状

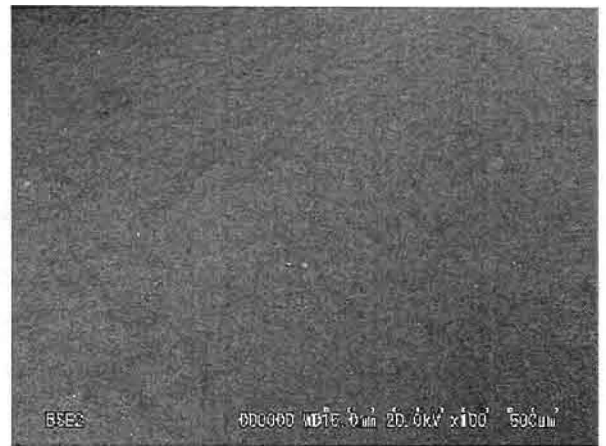


(c) ×10000 の場合

図 2.3-18 炭化物 800 (桃) の断面性状



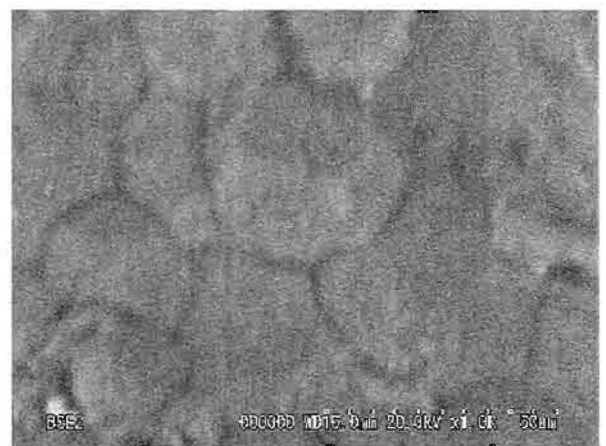
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

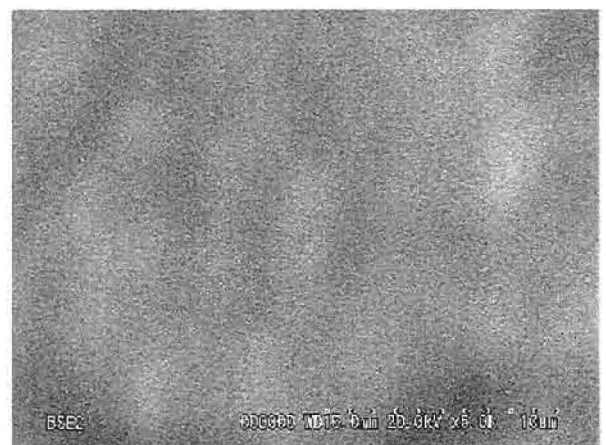


(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

図 2.3-19 炭化物 200 (梅) の表面性状

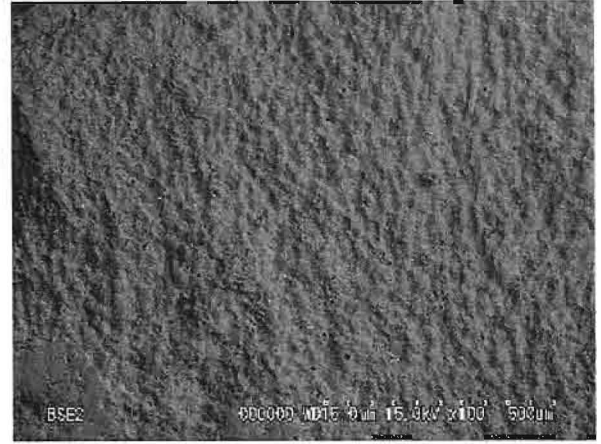


(c) ×10000 の場合

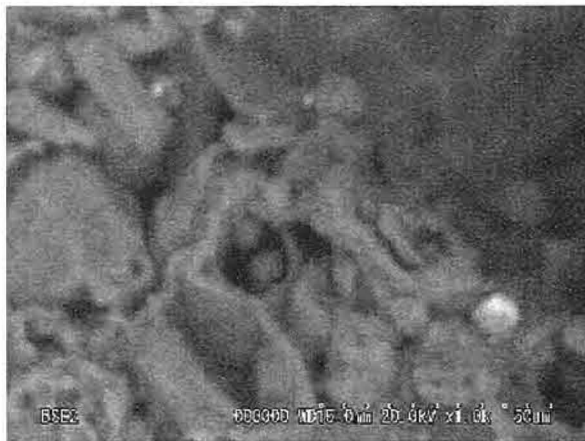
図 2.3-20 炭化物 200 (梅) の断面性状



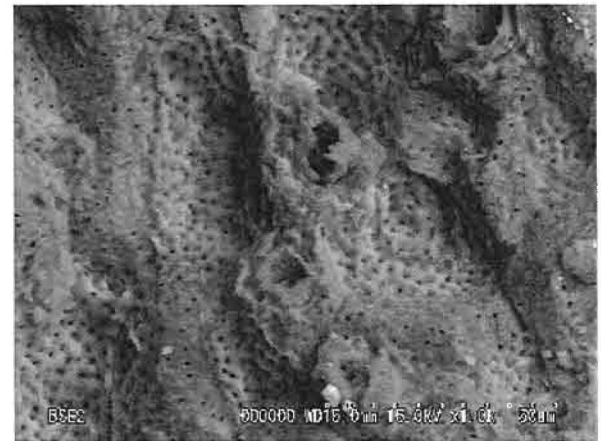
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

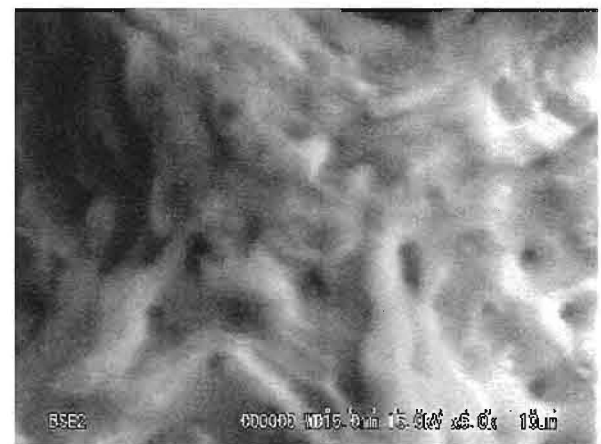


(b) ×1000 の場合



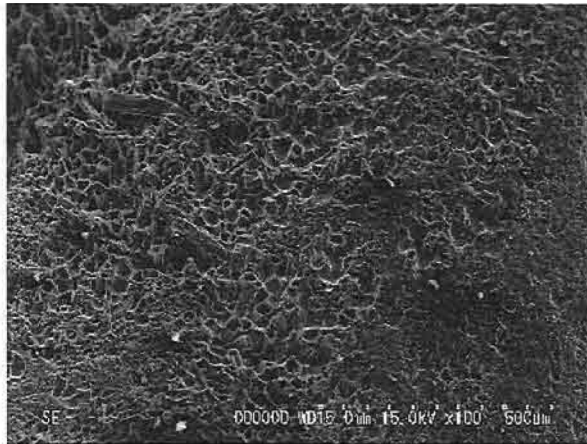
(c) ×10000 の場合

図 2.3-21 炭化物 300（梅）の表面性状



(c) ×10000 の場合

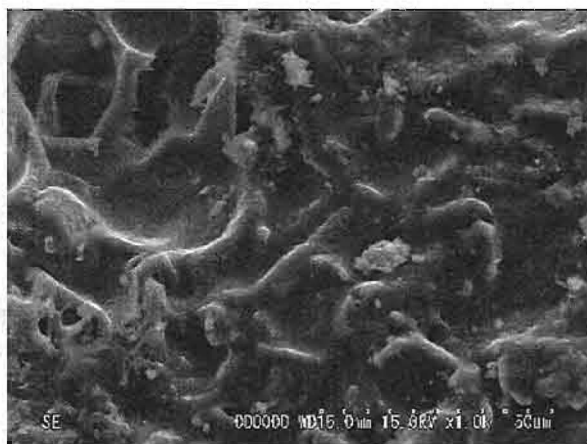
図 2.3-22 炭化物 300（梅）の断面性状



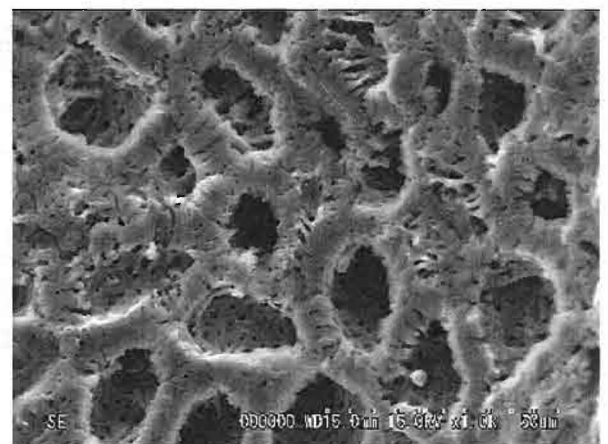
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(b) ×1000 の場合



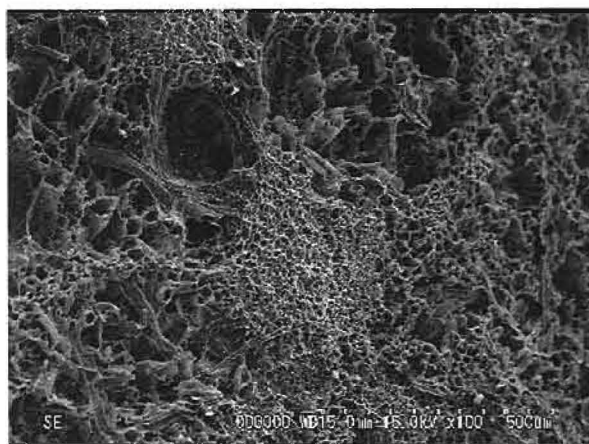
(c) ×10000 の場合

図 2.3-23 炭化物 500（梅）の表面性状

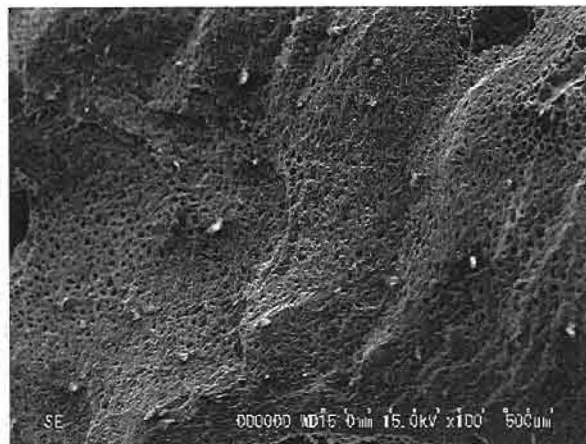


(c) ×10000 の場合

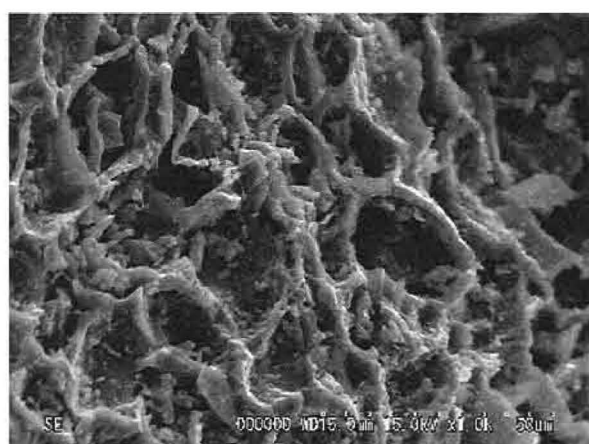
図 2.3-24 炭化物 500（梅）の断面性状



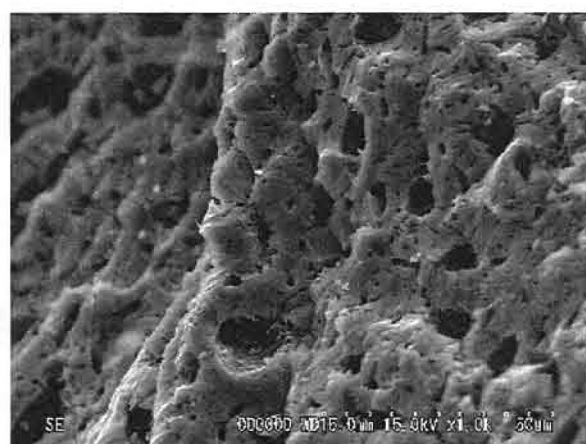
(a) ×100 の場合



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(b) ×1000 の場合



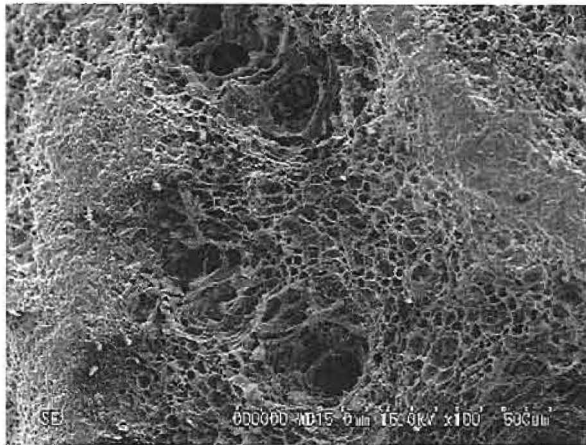
(c) ×10000 の場合

図 2.3-25 炭化物 700 (梅) の表面性状



(c) ×10000 の場合

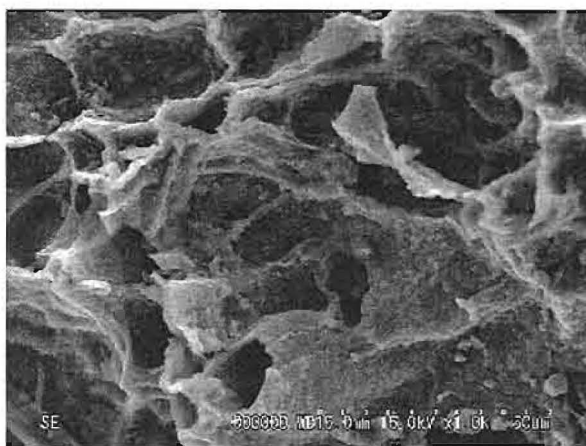
図 2.3-26 炭化物 700 (梅) の断面性状



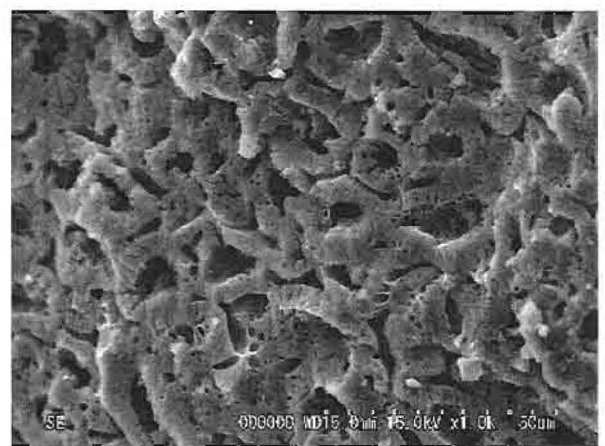
(a) ×100 の場合



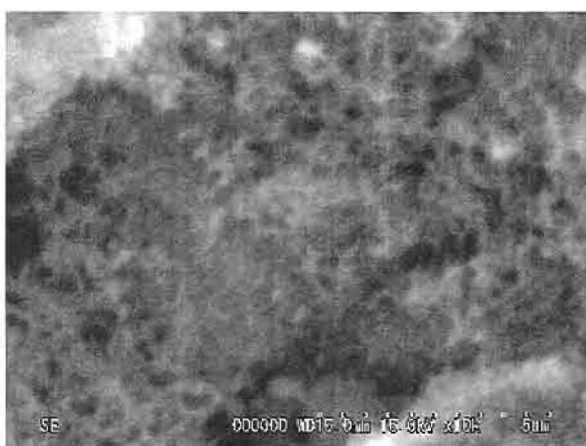
(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合

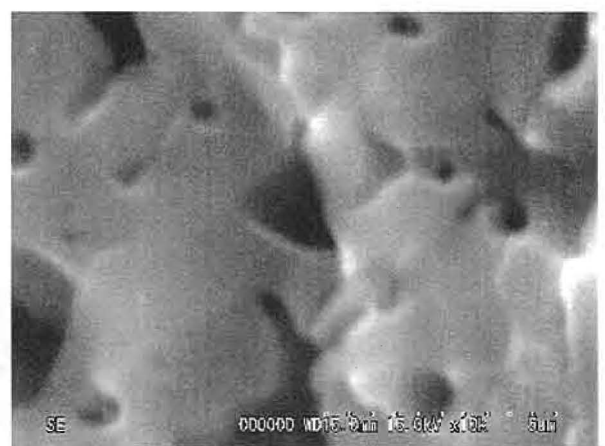


(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

図 2.3-27 炭化物 800 (梅) の表面性状



(c) ×10000 の場合

図 2.3-28 炭化物 800 (梅) の断面性状



(a) ×100 の場合



(b) ×1000 の場合



(c) ×10000 の場合

図 2.3.29 炭化物（市販品）の断面性状

2.4 考察

2.4.1 炭化度に関する検討

図 2.4-1 は、炭化度 (C/O および C/H) と真密度との関係を示したものである。図の (a) は C/O、(b) は C/H の場合である。

C/O と比較し、C/H の方が真密度との関係により高い相関が認められた。炭化度と真密度には高い相関関係が認められ、炭化度と構造上の変化には密接な関係があるものと示唆される。

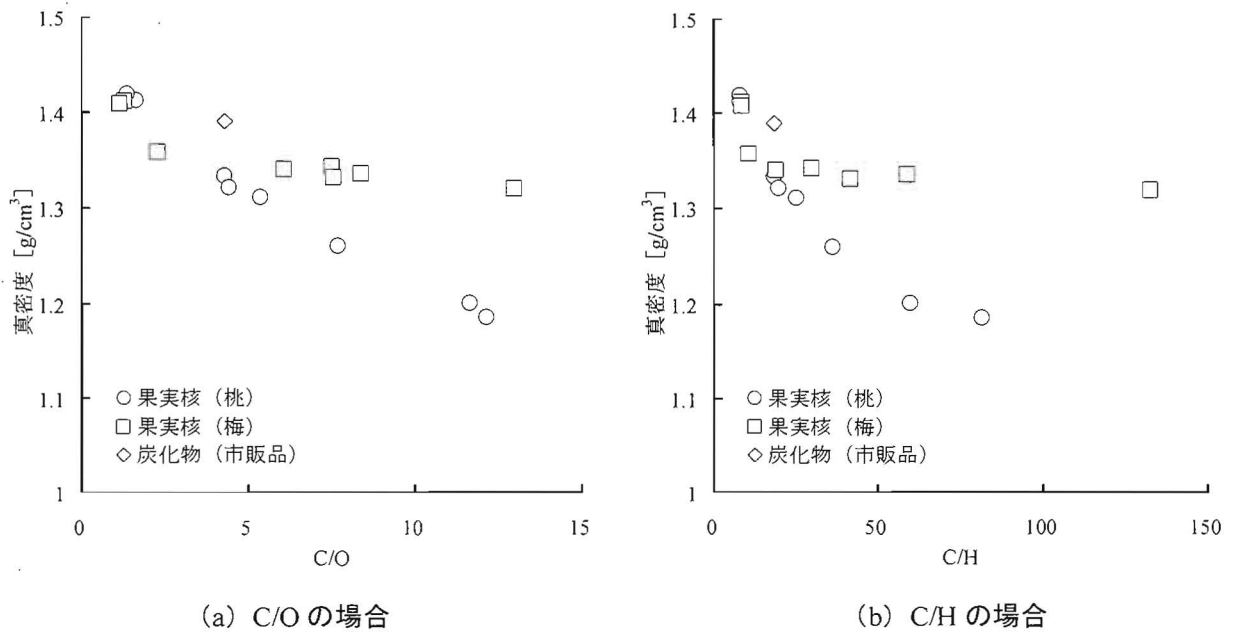


図 2.4-1 炭化度と真密度との関係

図 2.4-2 は、炭化度と見かけの絶乾密度との関係を示したものである。図の (a) は C/O、(b) は C/H の場合である。

真密度の場合と同様に、C/O と比較し、C/H の方が真密度との関係により高い相関が認められた。

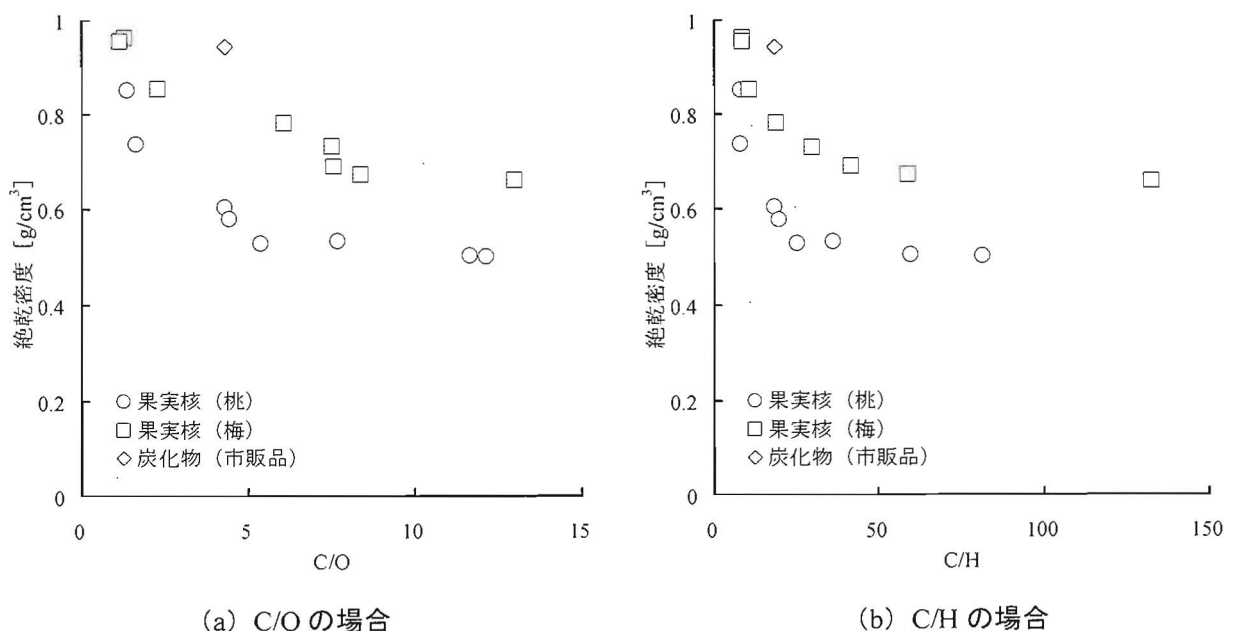


図 2.4-2 炭化度と絶乾密度との関係

図 2.4-3 は、元素組成と質量減少率との関係を示したものである。図の (a) は C/O、(b) は C/H の場合である。

真密度の場合と同様に、C/H は C/O よりも質量減少率との間に高い相関を示した。果実核の種類によらず、C/O および C/H の増加に伴い質量減少率は高くなる傾向がみられ、質量減少率は炭化度の推定する指標のひとつとして有効であるといえる。

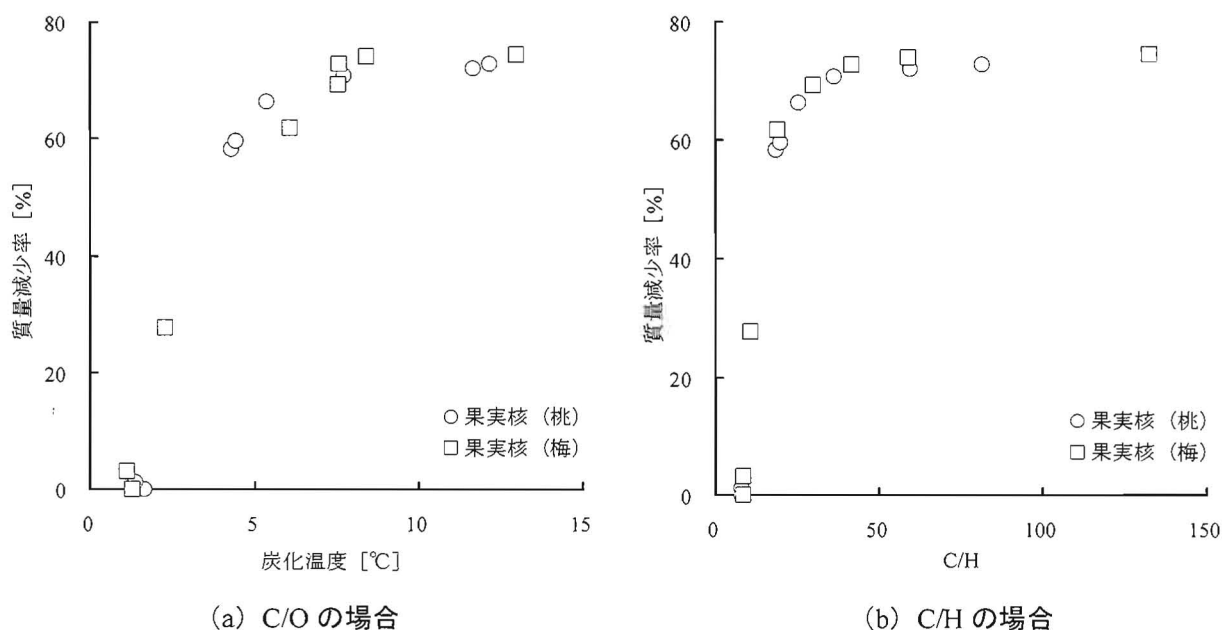


図 2.4-3 炭化度と質量減少率との関係

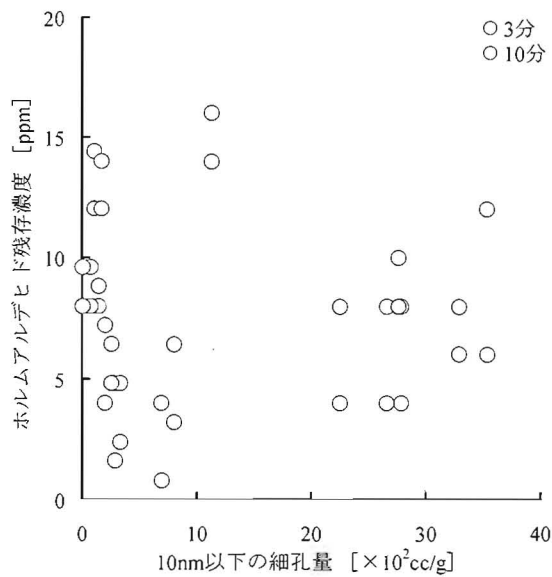
2.4.2 吸着性能に関する検討

細孔径分布と吸着性能との関係を明らかにするため、区間細孔径と比較的初期の吸着速度と密接に関係する 3 分および 10 分後における気体の残存濃度との関係を調べた。図 2.4-4 は、気体の物理吸着に有効とされる細孔直径 10nm 以下の細孔量と気体の残留濃度との関係を示したものである。図の (a) はホルムアルデヒド、(b) はアンモニア、(c) はトルエン、(d) はキシレン場合である。

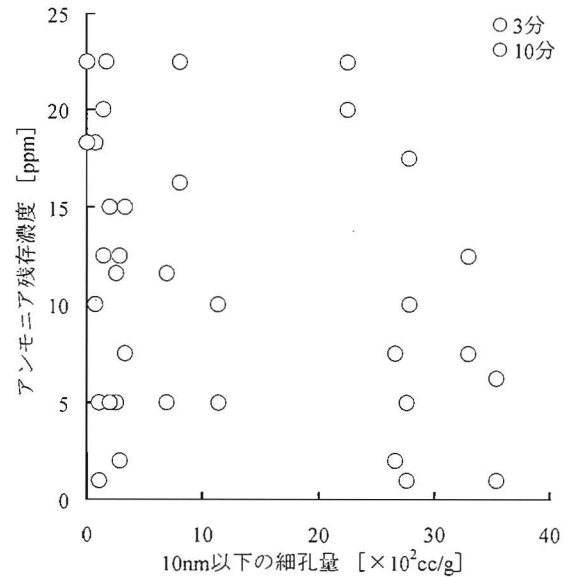
トルエンおよびキシレンでは、細孔直径 10nm 以下の細孔量が多い場合ほど吸着量が増大している傾向が認められた。一方、ホルムアルデヒドおよびアンモニアでは、吸着量と細孔量との間には明確な相関は認められなかった。

図 2.4-5 は、果実核の炭化物における pH とアンモニア残存濃度との関係を示したものである。

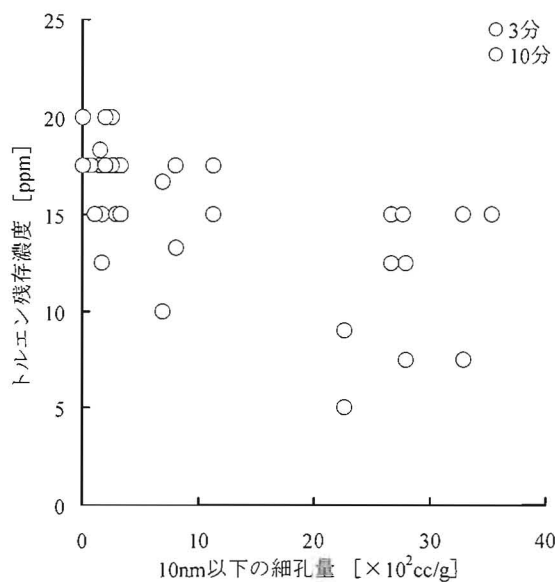
pH が小さい場合ほど、初期のアンモニア吸着量は増大する傾向が認められた。



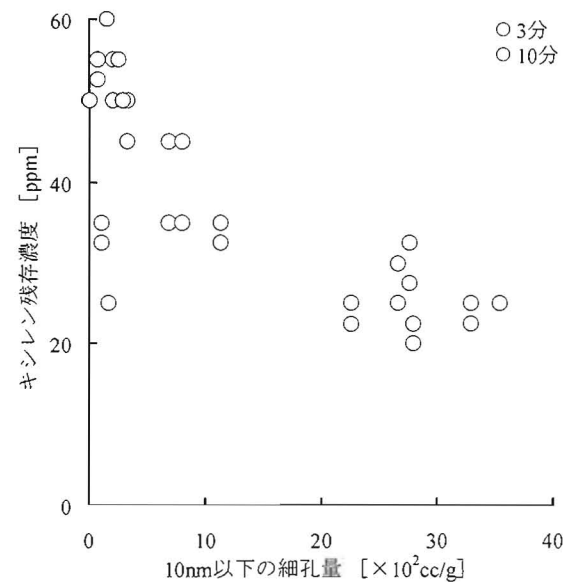
(a) ホルムアルデヒドの場合



(b) アンモニアの場合



(c) トルエンの場合



(d) キシレンの場合

図 2.4-4 10nm 以下細孔量と各種汚染気体の残存濃度との関係

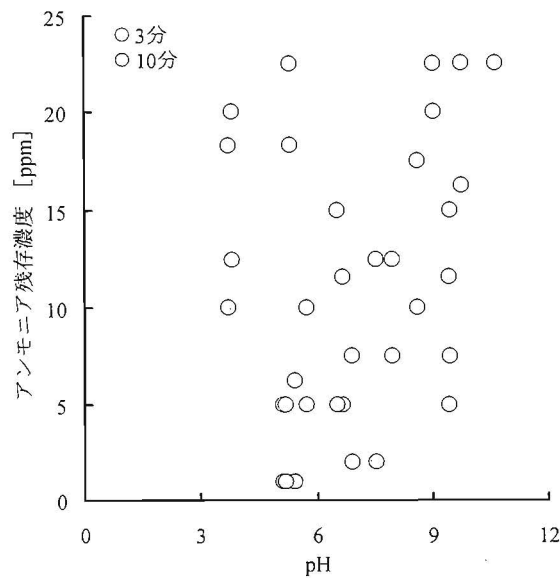


図 2.4-5 pH とアンモニア残存濃度との関係

2.4.3 強度に関する検討

図 2.4-6 および図 2.4-7 は、果実核（桃）および果実核（梅）における炭化度と比強度との関係を示したものである。各図の (a) は C/O、(b) は C/H の場合である。

炭化度と比強度は概ね反比例の関係にあり、炭化の進行に伴い強度は低下するといえる。よって、骨材用途には未炭化の堅硬な果実核を用い、炭化物には強度を期待するよりも吸着機能に特化するなど、状態によって適切な用途を選択する必要がある。

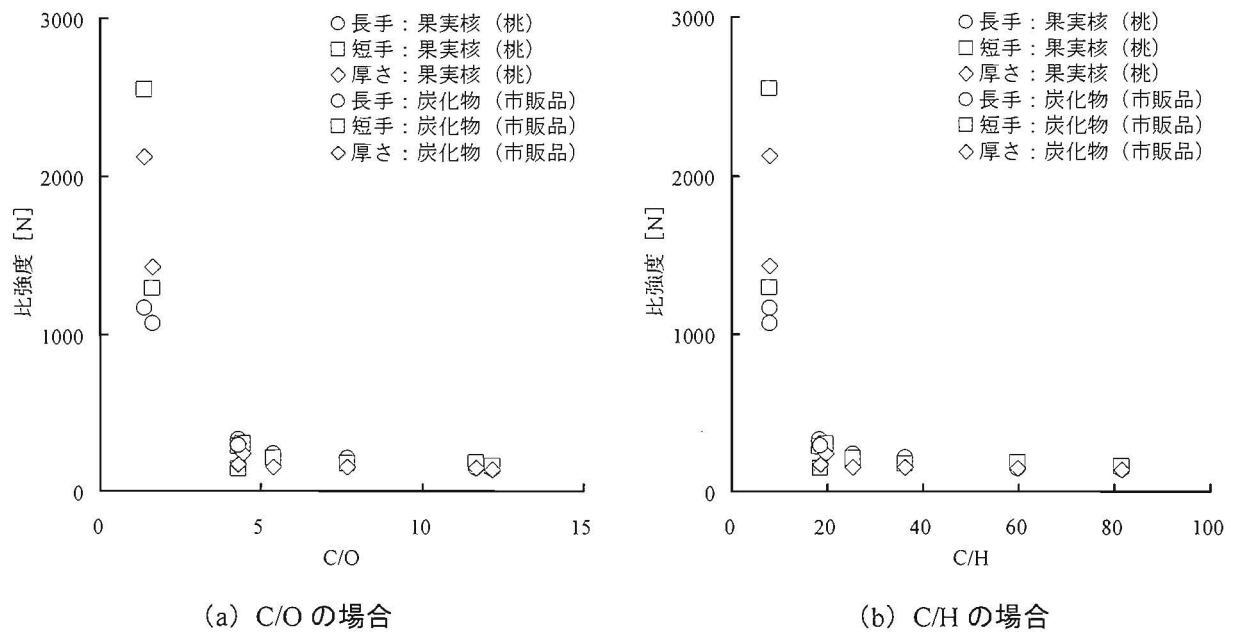
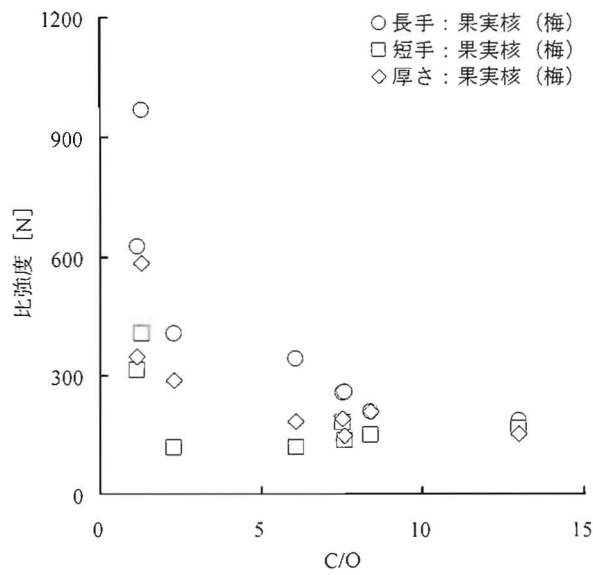
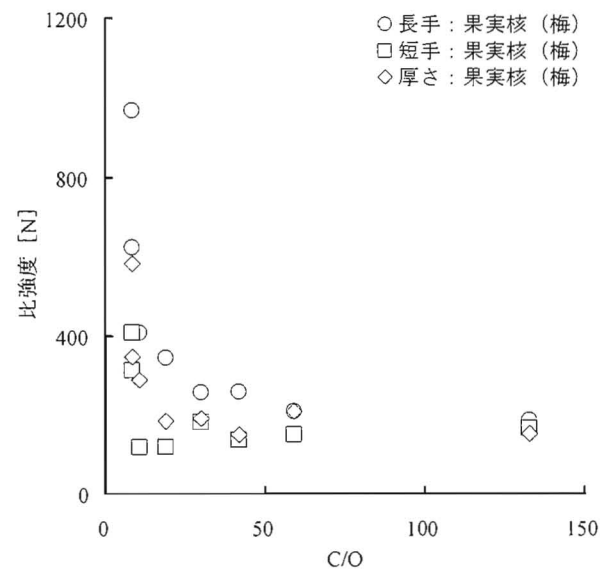


図 2.4-6 炭化度と比強度との関係（果実核（桃））



(a) C/O の場合



(b) C/H の場合

図 2.4-7 炭化度と比強度との関係（果実核（梅））

2.5 結言

本章では、果実核の建材としての有効利用を意図し、まず、桃および梅の果実核を対象に、その基本的な性質を明らかにすることを目的とした。また、炭化温度を変えて果実核の炭化物を作製し、炭化温度が炭化物の性質に及ぼす影響を明らかにすることを目的として実験を行った。

本章の結果を要約は、下記の通りである。

- 1) 真密度、質量減少率および絶乾密度は、炭化度（炭素の質量濃度を酸素の質量濃度または水素の質量濃度で除した値）と相関が認められることから、これらの値が間接的に炭化度を推定する指標となり得ることがわかった。
- 2) 適切に炭化温度を設定することにより、細孔径および細孔量を制御することができる。
- 3) トルエンおよびキシレンの吸着性能は微細孔量と相関関係にあり、アンモニアの吸着性能は懸濁液の pH にも依存することがわかった。
- 4) 圧壊強度は炭化度と反比例に似た関係にあり、炭化の進行に伴って分子構造や細孔組織に変化が起こることにより脆弱になることがわかった。
- 5) 果実核の用途として、骨材用途には堅硬な果実核を用い、炭化物には強度を期待せず、吸着機能に特化するなど、状態によって適切な用途を選択する必要がある。

第3章 炭化果実核を用いた成形板の性質

3.1. 実験の目的および項目

3.1.1 実験の目的

前章では、果実核の炭化物に吸着性能を期待できることを確認した。そこで本章では、果実核の建材としての利用を意図し、果実核の炭化物を粗骨材として用いたセメント系成形板を作製することにより、その吸着性能および物理・力学的性質を明らかにすることを目的とする。

3.1.2 実験の項目

果実核を建材として適用したときの建材の性質を明らかにするため、ここでは、ノーファインコンクリート（細骨材を用いないおこし状コンクリート）および製造方法を変えた2種類の骨材現し型コンクリートの計3種類のセメント系成形板を作製し、その物理的・力学的性質および空気汚染気体の吸着性能を確認した。

実験の項目は下記の通りである。

A. 物理・力学的性質

成形板の物理・力学的性質を明らかにするため、フレッシュ時の性質として単位容積質量（JIS A 1116⁻¹⁹⁹⁸「フレッシュコンクリートの単位容積質量及び空気量の質量による試験方法」）、硬化後の性質として、曲げ強度および曲げ弾性係数（JIS A 1408⁻²⁰⁰¹「建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法」）を測定した。

B. 吸着性能

代表的な室内空気汚染気体であるホルムアルデヒドを対象として、成形板の気体吸着性能を明らかにするため、定常的に発生させたホルムアルデヒド濃度の経時変化を小形チャンバー法により測定した。

3.2 実験の方法

3.2.1 使用材料

A. セメント

セメントは、太平洋セメント社製の普通ポルトランドセメントを用いた。同社の試験成績表を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 セメントの性質

		JIS規格値	試験成績
密度 [g/cm ³]		—	3.15
比表面積 [cm ² /g]		2500以上	3260
凝結	水量 [%]	—	27.5
	始発 [h-min]	60min以上	2-11
	終結 [h-min]	10h以下	3-34
安定性		良	良
圧縮強さ [N/mm ²]	3d	12.5以上	28.8
	7d	22.5以上	44.4
	28d	42.5以上	61.9
水和熱 [J/g]	7d	—	326
	28d	—	371
酸化マグネシウム [%]		5.0以下	1.34
三酸化硫黄 [%]		3.0以下	2.03
強熱減量 [%]		3.0以下	1.88
全アルカリ [%]		0.75以下	0.56
塩化物イオン [%]		0.02以下	0.010

【注】 安定性試験はパット法による。

B. 細骨材

細骨材は、鬼怒川水系川砂を用いた。この細骨材について、JIS A 1109¹⁹⁹⁹「細骨材の密度及び吸水率試験方法」に準じて密度および吸水率を測定した。この細骨材の性質を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 細骨材の性質

骨材名	絶乾密度 [g/cm ³]	表乾密度 [g/cm ³]	吸水率 [%]
人工軽量細骨材	1.56	1.80	15.6

C. 粗骨材

粗骨材は、前章で用いた果実核（桃）の炭化物（以下、炭化果実核（記号：C）と略記する。）および人工軽量骨材（記号：AL）を用いた。ただし、炭化果実核については、目視により割れ等の欠損が認められないものを選定して用いた。これらの粗骨材について、JIS A 1110¹⁹⁹⁹「粗骨材の密度及び吸水率試験方法」および JIS A 1104¹⁹⁹⁹「骨材の単位容積質量及び実積率試験方法」に準じて、密度、吸水率、単位容積質量および実積率を測定した結果を表 3.2-3 に示す。ただし、炭化果実核には内部に空洞が存在し、水中質量により体積を測定する場合に水が空洞に浸入し、正確な体積の測定は難しい。そこで、溶解させたパラフィンを用いて表面に薄い不透水膜をつくり、水中質量を測定することによって体積を算出した。

表 3.2-3 粗骨材の性質

骨材名	絶乾密度 [g/cm ³]	表乾密度 [g/cm ³]	吸水率 [%]	単位容積質量 [kg/l]	実積率 [%]
炭化果実核 (C)	0.62	0.86	38.4	0.43	50.4
人工軽量粗骨材 (AL)	0.97	1.11	14.3	0.64	57.8

3.2.2 調合

A. ノーフラインコンクリート

表 3.2-4 にノーフラインコンクリート（以下、NF と略記し、使用粗骨材の記号（C：炭化果実核、AL：人工軽量骨材）を付す。）の調合を示す。セメントペースト量は容積全体の 20%とし、水セメント比は 30%とした。粗骨材量は容積全体に対して最密状態となる量とした。

表 3.2-4 ノーフラインコンクリートの調合

記号	単位質量 [kg/m ³]				備考
	水	セメント	細骨材	粗骨材	使用粗骨材
NF-C	97	324	—	640	炭化果実核
NF-AL	97	324	—	430	人工軽量骨材

B. 骨材現し型コンクリート

1) 剥離剤を粗骨材の片面に塗布して型枠に設置するもの

表 3.2-5 に剥離剤を用いた骨材現し型コンクリート（以下、R と略記し、使用粗骨材の記号を付す。）の調合を示す。水セメント比は 40%、単位セメントペースト量は 583l/m³、粗骨材量は型枠の一面に敷き詰められる量とした。

表 3.2-5 骨材現し型コンクリート（剥離剤を用いたもの）の調合

記号	単位質量 [kg/m ³]				備考
	水	セメント	細骨材	粗骨材	使用粗骨材
R-C	213	533	487	240	炭化果実核
R-AL	213	533	487	186	人工軽量骨材

2) 凝結遅延剤を塗布したシートを型枠に敷くもの

表 3.2-6 に凝結遅延剤シートを用いた骨材現し型コンクリート（以下、S と略記し、使用粗骨材の記号を付す。）の調合を示す。調合は JIS A 5002¹⁹⁹⁹「構造用軽量コンクリート骨材」に準じるものとし、水セメント比は 40%、細骨材率は 40%とした。

表 3.2-6 骨材現し型コンクリート（シートを用いたもの）の調合

記号	単位質量 [kg/m ³]				備考
	水	セメント	細骨材	粗骨材	使用粗骨材
S-C	200	500	456	407	炭化果実核
S-AL	200	500	456	316	人工軽量骨材

3.2.3 混練

A. ノーフラインコンクリート

試料の混練には、写真 3.2-1 に示す容量 10l のオムニミキサ（千代田技研工業社製 OM-10）を用い、一回の混練容積は 10l とした。

混練手順は、まず、水をミキサに投入してからセメントを投入し 2 分間混練した。一旦ミキサを停止し、付着物をかき落とした後、粗骨材を投入し、さら 2 分間混練した。そして、ミキサによる混練が終了したら、混ぜむらがないように丁寧にさじで攪拌した。



写真 3.2-1 オムニミキサ（千代田技研工業社製 OM-10）

B. 骨材現し型コンクリート

1) 凝結遅延剤を塗布したシートを用いるもの

試料の混練には上記と同様のオムニミキサを用い、一回の練り混ぜ量は約 10ℓ とした。

混練手順は、まず粗骨材およびセメントを投入し、試料が十分に混ざるまで空練りした。次に細骨材および水を加えてからミキサを始動させ、2 分間混練した。一旦ミキサを休止し、ミキサ内部の付着物をかき落とした後、1 分間混練した。そして、ミキサによる混練が終了したら、混ぜむらがないように丁寧にさじで攪拌した。

2) 剥離剤を型枠に塗布するもの

試料の混練には上記と同様のオムニミキサを用い、一回の練り混ぜ量は約 10ℓ とした。

混練手順は、細骨材およびセメントを投入して試料が十分に混ざるまで空練りした。つぎに、水を加えてからミキサを始動させ、2 分間混練した。一旦ミキサを休止し、ミキサ内部の付着物をかき落とした後、1 分間混練した。ミキサによる混練が終了したら、混ぜむらがないように丁寧にさじで攪拌した。

3.2.4 試験片の成形および養生

A. ノーファインコンクリート

混練した試料は、ただちに型枠へ打設した。型枠は、曲げ試験用として内寸法 200mm×150mm×30mm の木製型枠、吸着試験用として 165mm×165mm×30mm の木製型枠を用いた。

試験片は、すべて混練後約 24 時間で脱型し、試験材齢である 28 日まで 20±3℃の水中で養生した。脱型後における試験片の写真を写真 3.2-2 に示す。

B. 骨材現し型コンクリート

1) 凝結遅延剤を塗布したシートを用いるもの

混練した試料は、底面に凝結遅延剤を塗布したシートを貼り付けた型枠に打設した。型枠は、ノーファインコンクリートと同様のものを用いた。

試験片は、すべて混練後約 24 時間で脱型し、凝結遅延剤を塗布したシートと接触していた面を水

で洗い流すことによって粗骨材が表面に現れるようにモルタルを洗い流した。そして、試験材齢である 28 日まで $20\pm3^{\circ}\text{C}$ の水中で養生した。脱型後における試験片の写真を写真 3.2-3 に示す。

2) 剥離剤を型枠に塗布するもの

混練した試料は、あらかじめ粗骨材の片面に剥離剤を塗布し、塗布面が型枠の底面になるように配置した型枠に打設した。型枠はノーファインコンクリートと同様のものを用いた。

試験片は、すべて混練後約 24 時間で脱型し、試験材齢である 28 日まで $20\pm3^{\circ}\text{C}$ の水中で養生した。脱型後における試験片の写真を写真 3.2-4 に示す。



写真 3.2-2 ノーファインコンクリート



写真 3.2-3 骨材現し型コンクリート（凝結遅延剤シート使用）

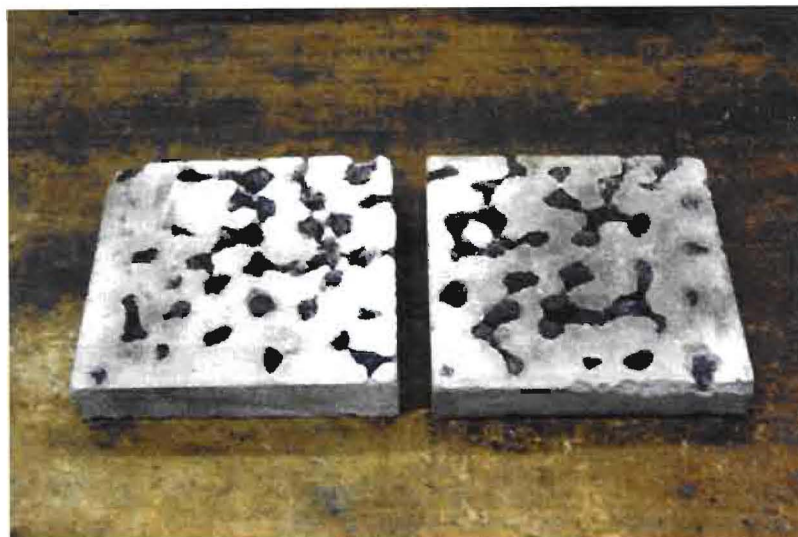


写真 3.2-4 骨材現し型コンクリート（剥離剤使用）

3.2.5 測定項目および試験方法

A. 物理的および力学的性質

フレッシュ時の性質として、単位容積質量を測定した。単位容積質量の測定は、JIS A 1116⁻¹⁹⁹⁸「フレッシュコンクリートの単位容積質量及び空気量の質量による試験方法」に準じた。

硬化後の力学的性質として、材齢 28 日における曲げ強度を測定した。曲げ試験は、JIS A 1408⁻²⁰⁰¹「建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法」に準じて行い、曲げ強度および曲げ弾性係数を求めた。試験片の寸法は、長さ 200mm×幅 150mm×厚さ 30mm（5 号試験体）とした。試験は各調合につき 3 回行い、その平均値を試験値とした。

B. ホルムアルデヒド濃度の低減量

室内空気汚染濃度の低減性能を明らかにするため、代表的な室内空気汚染物質であるホルムアルデヒド濃度の低減量を測定した。ホルムアルデヒド濃度の低減性能試験は、小形チャンバー法に拠った。

低減性能試験装置の写真および概要を写真 3.2-5 および図 3.2-1 に示す。チャンバーは、JIS A 1901⁻²⁰⁰³に規定される SUS304 製の容量 20ℓ 小形チャンバーを用いた。このチャンバーを 260℃のオーブンで 40 分間加熱処理することにより汚染物を揮発させ、設置可能な温度まで冷却した後、恒温槽に設置した。測定には 2 個のチャンバーを用い、一方には汚染気体を発生させるため、JIS A 5905⁻²⁰⁰³に規定されるホルムアルデヒド放散量 F☆☆等級（ホルムアルデヒド放散量 $0.5 \sim 2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）に適合する中密度繊維板（以下、MDF と略記する。）を設置、他方には MDF から発生させた汚染気体を吸着する試験片を設置し、双方をチューブで連結した。MDF および試験片は、試料負荷率が $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ になるように JIS A 1901⁻²⁰⁰³に規定されるシールボックスに収め、各々 2 枚ずつをチャンバー内に設置した。そして、空気清浄装置（ADTEC 社製 Adfresh10）により清浄化した室内空気を、MDF を設置したチャンバーに供給した。試験条件は、温度 $28 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 5\% \text{RH}$ 、換気回数 0.5 回/h とした。

試験片設置後、1、3、7 日後に試験片を設置したチャンバーの入口および出口で気体を捕集した。気体の捕集は、積算流量計付きポンプにアルデヒド類捕集管（Waters 社製 Sep-Pak DNPH-Silica）を接続することにより行った。捕集流量は、換気回数より $167\text{mL}/\text{min}$ とした。気体捕集後、高速液体

クロマトグラフ（Waters 社製 2640）および UV Detector（Waters 社製 2487）を用い、ホルムアルデヒド濃度の分析を行った。



写真 3.2-5 低減量性能試験装置

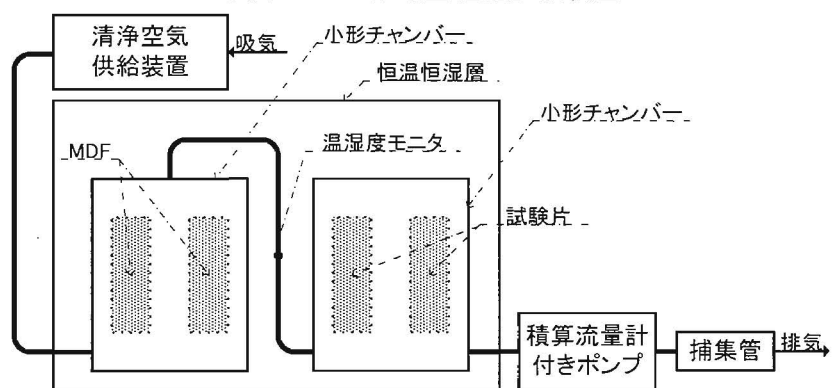


図 3.2-1 低減量性能試験装置の概要

3.3 実験の結果

3.3.1 物理的および力学的性質

単位容積質量、見掛け密度、曲げ強度および曲げ弾性係数の測定結果を表 3.3-1 に示す。

単位容積質量および見掛け密度は、試験片の形態に大きく影響を受けていることがわかる。また、粗骨材の密度が異なることもあり、炭化果実核を用いた試験片は、人工軽量骨材を用いたものより軽量であった。

曲げ強度および曲げ弾性係数は、剥離剤を用いたコンクリート（R）が最も高く、次いで凝結遅延剤シートを用いたコンクリート（S）、ノーファインコンクリート（NF）の順であった。単位容積質量および見掛け密度の測定結果と同様、試験片の形態に影響を受けていることがわかる。また、粗骨材の種類が曲げ強度および曲げ弾性係数に及ぼす影響は、ノーファインコンクリート（NF）およびシート（S）で顕著である。これは、粗骨材そのものの強度に起因するものと示唆される。特に骨材の点接触により構成されているノーファインコンクリートでは、その差は顕著であった。

炭化果実核を用いた試験片は、人工軽量骨材を用いたものよりも曲げ強度では劣るものの、単位容積質量や見かけ密度から判断すると軽量であるといえる。そこで、曲げ強度を見かけ密度で除した比強度を算出したものが図 3.2-1 である。炭化果実核を用いた試験片の曲げ強度は、人工軽量骨材を用いたものより低い値となっているが、比強度で比較するとその差は縮まっており、比強度の面では有利であるといえる。

表 3.3-1 単位容積質量、見掛け密度、曲げ強度および曲げ弾性係数の測定結果

記号	単位容積質量 [kg/m ³]	見掛け密度 [g/cm ³]	曲げ強度 [N/mm ²]	曲げ弾性係数 [N/mm ²]	備考	
					使用粗骨材	形態
NF-C	0.85	0.72	0.45 (6.3 %)	1.85E-03 (38.2 %)	炭化果実核	ノーファイン
R-C	1.00	1.65	2.77 (11.5 %)	1.31E-02 (25.1 %)		洗い出し（剥離剤）
S-C	1.46	1.39	1.38 (42.1 %)	8.28E-03 (26.6 %)		洗い出し（シート）
NF-AL	0.99	1.22	0.96 (16.8 %)	2.08E-03 (22.0 %)	人工軽量骨材	ノーファイン
R-AL	1.40	1.58	3.01 (22.4 %)	4.76E-03 (2.6 %)		洗い出し（剥離剤）
S-AL	1.75	1.60	2.87 (4.5 %)	1.47E-02 (1.91 %)		洗い出し（シート）

【注】 括弧内は変動係数を示す。

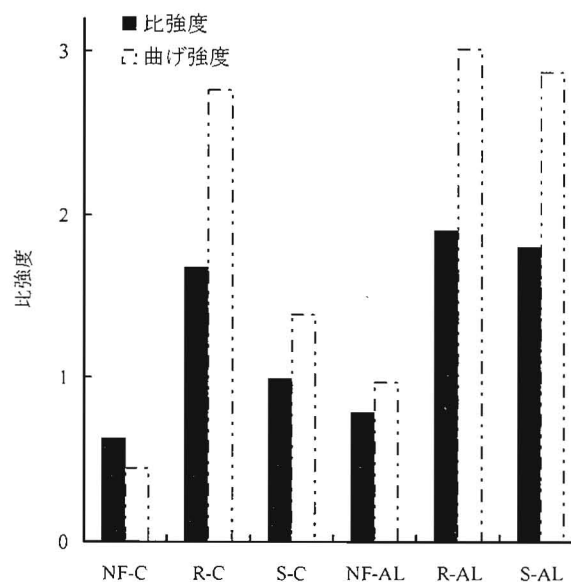


図 3.3-1 各試験片の比強度

3.3.2 ホルムアルデヒド濃度の低減量

ホルムアルデヒド濃度の低減量に関する試験結果を表 3.3-2 に示す。また、ホルムアルデヒド濃度の経時変化を図 3.3-2 に示す。

測定初期において、ホルムアルデヒド濃度は 50～80%程度にまで低減した。すべての試験片でホルムアルデヒド濃度を低減させており、試験片はホルムアルデヒドを吸着していることがわかる。

成形板の形態がホルムアルデヒド濃度の低減量に及ぼす影響に関しては、ノーファインコンクリート（NF）および剥離剤を用いた試験片（R、C）では時間の経過に伴い低減量は減少した。一方、凝結遅延剤シートを用いた試験片では、1 日後から 3 日後にかけて吸着量が増大し、7 日目にかけてほぼ定常状態となっており、7 日間では吸着性能の低下はなかったものと示唆される。

また、他の試験片と比較して、ノーファインコンクリートの吸着量は低い。これは、骨材の表面を覆うセメントペーストの膜が骨材と気体との接触を抑え、気体の吸着を阻害したものと考えられる。

骨材の種類が吸着量に及ぼす影響に関しては、炭化果実核を用いた試験片の吸着量は人工軽量粗骨材を用いたものよりも大きく、粗骨材そのものの吸着性能は試験片の吸着性能に影響を及ぼすものと示唆される。

表 3.3-2 ホルムアルデヒド濃度の低減量に関する試験結果

記号	吸着したホルムアルデヒドの濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			備考	
	1日	3日	7日	使用粗骨材	形態
NF-C	75.1 (62.6%)	65.3 (54.4%)	58.7 (48.9%)	炭化果実核	ノーファイン
R-C	102.0 (85.0%)	77.6 (64.7%)	66.7 (55.5%)		洗い出し（剥離剤）
S-C	75.5 (62.9%)	84.2 (70.2%)	87.4 (72.8%)		洗い出し（シート）
NF-AL	60.0 (50.0%)	46.7 (38.9%)	37.4 (31.1%)	人工軽量骨材	ノーファイン
R-AL	94.5 (78.8%)	74.3 (61.9%)	58.3 (48.5%)		洗い出し（剥離剤）
S-AL	66.6 (55.5%)	78.5 (65.4%)	80.0 (66.7%)		洗い出し（シート）

【注】括弧内はホルムアルデヒド濃度の吸着量を示す。

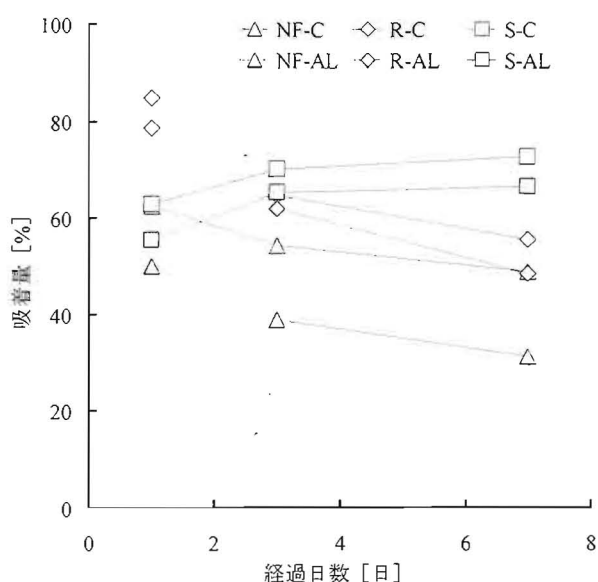


図 3.3-2 ホルムアルデヒド濃度の経時変化

3.4 結言

本章では、建材としての利用を意図し、炭化果実核を粗骨材として用いたセメント系成形板を作製することにより、その物理・力学的性質および吸着性能を明らかにすることを目的として実験を行った。

本章の結果を要約すると、下記の通りとなる。

- 1) 炭化果実核を用いた成形板は、人工軽量骨材を用いた成形板と比較して、曲げ強度では劣るものの、比強度ではそれに近い値を示した。
- 2) 炭化果実核を用いた成形板は、人工軽量骨材を使用した成形板と比較して、高いホルムアルデヒド濃度の低減性能を有し、特に骨材の表面を露出させたものの低減性能は高いことがわかった。

第 4 章 結 論

4. 結論

本研究では、電気炉を用いて桃および梅果実核を炭化し、その温度条件が炭化物の性質に及ぼす影響について検討した。測定した項目は、元素組成、pH、真密度、細孔径分布、密度および吸水率、吸着性能、質量減少率、粒径分布、圧壊強度ならびに組織観察である。また、室内空気環境の改善を目的とし、炭化果実核を用いた吸着性能を引き出せる形状のセメント系成形板（骨材現し型コンクリートおよびノーファインコンクリート）を試作し、主要な室内空気汚染気体であるホルムアルデヒドの低減性能およびその曲げ強度を確かめた。

得られた知見は下記の通りである。

- 1) 真密度、質量減少率および絶乾密度と炭化度に相関関係が認められることから、これらの値が間接的に炭化度を推定する指標となり得ることがわかった。
- 2) 適切に炭化温度を設定することにより、細孔径および細孔量を制御することができる。
- 3) トルエンおよびキシレンの吸着性能は微細孔量と相関関係にあり、アンモニアの吸着性能は懸濁液の pH にも依存することがわかった。
- 4) 圧壊強度は炭化度と反比例に似た関係にあり、炭化の進行に伴って分子構造や細孔組織に変化が起こることにより脆弱になることがわかった。
- 5) 果実核の用途として、骨材用途には堅硬な果実核を用い、炭化物には強度を期待せず、吸着機能に特化するなど、状態によって適切な用途を選択する必要がある。
- 6) 炭化果実核を用いた成形板で、特に骨材の表面を露出させたものは、人工軽量骨材を使用した成形板と比較して、曲げ強度は劣るものの、ホルムアルデヒドの濃度低減に有効であることを確認した。

平成16年度科学研究費補助金研究成果報告書概要

1. 研究機関番号 3 2 6 8 9 2. 研究機関名 早稲田大学
3. 研究種目等の名称 基盤研究(C) 4. 研究期間 平成15年度～平成16年度
5. 課題番号 1 5 5 6 0 5 0 4

6. 研究課題名 果実核廃棄物を利用した浄化・吸着機能を有する建材開発に関する実験的研究

7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者氏名	所属部局名	職名
0 0 2 5 7 2 1 3	フリガナ コシイシ ナオユキ 奥石 直幸	理工学術院	助教授

8. 研究分担者(所属機関名は、研究代表者の所属機関と異なる場合に記入すること)

研究者番号	研究分担者氏名	所属機関名・部局名	職名
	フリガナ		
	フリガナ		
	フリガナ		
	フリガナ		
	フリガナ		

9. 研究成果の概要(当該研究期間のまとめ、600字～800字、図、グラフ等は記載しないこと)

本研究は、缶詰などの食品加工業から排出され、産業廃棄物として焼却あるいは埋立て処分されている果実の核(種)の、建材としての有効利用を目的としたものであり、その開発・実用化に向けた基礎研究である。

まず、電気炉を用いて桃および梅の果実核を炭化し、その温度条件が炭化物の性質に及ぼす影響について検討した。測定した項目は、元素組成、pH、真密度、細孔径分布、密度および吸水率、吸着性能、質量減少率、粒径分布、圧壊強度ならびに組織観察である。また、室内空気環境の改善を目的とし、果実核の炭化物を用いた吸着性能を引き出せる形状のセメント系成形板(骨材現し型コンクリートおよびノーファインコンクリート)を試作し、その曲げ強度および主要な室内空気汚染気体であるホルムアルデヒドの低減性能を確かめた。得られた知見は下記の通りである。

1. 真密度、質量減少率および絶乾密度と炭化度に相関関係が認められることから、これらの値が間接的に炭化度を推定する指標となり得ることがわかった。
2. 適切に炭化温度を設定することにより、細孔径および細孔量を制御することができる。
3. トルエンおよびキシレンの吸着性能は微細孔量と相関関係にあり、アンモニアの吸着性能は懸濁液のpHにも依存することがわかった。
4. 圧壊強度は炭化度と反比例に似た関係にあり、炭化の進行に伴って分子構造や細孔組織に変化が起こることにより脆弱になる。
5. 果実核の用途として、骨材用途には堅硬な果実核を用い、炭化物には強度を期待せず、吸着機能に特化するなど、状態によって適切な用途を選択する必要がある。
6. 炭化果実核を用いた成形板で、特に骨材の表面を露出させたものは、人工軽量骨材を使用した成形板と比較して、曲げ強度は劣るものの、ホルムアルデヒドの濃度低減に有効である。

10. キーワード

- (1) 果実核 (2) 再資源化 (3) 廃棄物
- (4) 吸着 (5) 室内空気汚染 (6)
- (7) (8) (裏面に続く)

11. 研究発表(印刷中も含む。)

〔雑誌論文〕

著者名	論文標題			
位田、輿石、川上、赤坂、横山	果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究 第6報 炭化温度が果実核の基本的性質に及ぼす影響			
雑誌名	巻	発行年		ページ
日本建築学会関東支部研究報告集	I	2	0 0 4	57 — 60

著者名	論文標題			
位田、輿石、川上、横山	果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究 第7報 室内空気汚染気体の浄化・吸着性能			
雑誌名	巻	発行年		ページ
日本建築学会大会学術講演梗概集	A-1	2	0 0 4	771 — 772

著者名	論文標題			
位田、輿石、川上、横山	果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究 第8報 炭化物における特性値間の相互関係			
雑誌名	巻	発行年		ページ
日本建築学会関東支部研究報告集	I	2	0 0 5	85 — 88

著者名	論文標題			
位田、輿石、川上、横山	果実核の建材としての有効利用に関する実験的研究 第9報 果実核を用いた成形板におけるホルムアルデヒドの低減性能			
雑誌名	巻	発行年		ページ
日本建築学会大会学術講演梗概集	A-1	2	0 0 5	1013 — 1014

著者名	論文標題			
雑誌名	巻	発行年		ページ
				—

著者名	論文標題			
雑誌名	巻	発行年		ページ
				—

〔図 書〕

著者名	出版者		
早稲田大学建築学科 「未来を拓く新しい建築システム」研究グループ	建築技術		
書 名	発行年		総ページ
未来を拓く新しい建築システム	2	0 0 6	264

12. 研究成果による工業所有権の出願・取得状況

工業所有権の名称	発明者名	権利者名	工業所有権の種類、番号	出願年月日	取得年月日

工業所有権の名称	発明者名	権利者名	工業所有権の種類、番号	出願年月日	取得年月日

ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECT, GRANT-IN-AID
FOR SCIENTIFIC RESEARCH (2004)

1. RESEARCH INSTITUTION NUMBER : 32689

2. RESEARCH INSTITUTION : Waseda University

3. CATEGORY : Grant-in-Aid for Scientific Research (C)

4. TERM OF PROJECT (2003 ~ 2004)

5. PROJECT NUMBER : 15560504

6. TITLE OF PROJECT : Experimental study on development of construction materials with purification and adsorption
using fruit cores waste.

7. HEAD INVESTIGATOR 00257213 Naoyuki Koshiishi Waseda University, Faculty of Science and Engineering, Associate professor

8. INVESTIGATORS (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

9. SUMMARY OF RESEARCH RESULTS

This research is aiming at the deployment as construction materials of fruit cores (seed) to which it is exhausted by the food processor such as canned foods, and incineration or the landfill disposal as an industrial waste. This research is the fundamental research for the development and practical use.

First of all, Peach and Ume fruit cores were carbonized by using an electric furnace. And the influence of carbonization temperature on basic property of fruit cores was examined. Test program were elemental composition, pH, true density, pore distribution, density, absorption coefficient, adsorptivity, mass loss rate, grain size distribution, crushing strength, and structure observation. Moreover, cement moulded boards (aggregate showing type concrete and no-fine concrete) of shape that the adsorptivity was able to be drawn out, were made for trial purposes to improve the indoor air environment. And its reduction performance of formaldehyde that is the main indoor air pollution gas and its flexural strength was confirmed.

The obtained finding is as follows.

1. True density, mass loss rate and density in oven-dry condition were in the carbonization level and the correlation. It was found to become an index to which these values indirectly presume the carbonization level.
2. Pore size and its quantity can be controlled by appropriately setting the carbonization temperature.
3. It was found that adsorptivities of toluene and xylene were in pore quantity and the correlation, and adsorptivity of ammonia depend on pH of the suspension.
4. Crushing strength was in the relation that looks like carbonization level and inverse proportion. Because the change takes place to molecular structure and the pore structure as the carbonization progresses, it becomes weak.
5. As a usage of the fruit cores, hard fruit cores is used for the aggregate usage and carbonized fruit cores specializes from strength in the adsorption function. That is, it is necessary to select an appropriate usage according to the state.
6. Flexural strength of moulded board that uses the carbonization fruit cores was inferior to that of moulded board that uses the artificial light-weight aggregate. However, it is effective to the concentration reducing of formaldehyde.

10. KEY WORDS

(1) Fruit cores	(2) Recvcling	(3) Waste
(4) Adsorption	(5) Indoor air pollution	(6)
(7)	(8)	

(CONTINUE TO NEXT PAGE)

11. REFERENCES

AUTHORS , TITLE OF ARTICLE	JOURNAL,VOLUME-NUMBER,PAGES CONCERNED, YEAR
T.Inden , N.Koshiishi et al. , Experimental study on effective use of Fruit Cores for Building Materials (Report 6 Influence of Carbonization Temperature on Basic Property in Fruit Cores)	Research Meeting Kanto chapter Architectural Institute of Japan, Vol.I, pp.57-60, 2004
T.Inden , N.Koshiishi et al. , Experimental study on effective use of Fruit Cores for Building Materials (Report 7 Purification and Adsorptivity to Indoor Air Pollution Gas)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, Vol.A, pp.771-772, 2004
T.Inden , N.Koshiishi et al. , Experimental study on effective use of Fruit Cores for Building Materials (Report 8 Interrelation between Characteristic Values in Carbide)	Research Meeting Kanto chapter Architectural Institute of Japan, Vol.I, pp.85-88, 2005
T.Inden , N.Koshiishi et al. , Experimental study on effective use of Fruit Cores for Building Materials (Report 9 Reduction Performance of Formaldehyde in Moulded Board Useing Fruit Cores)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, Vol.A, pp.1013-1014, 2005
"New Construction System to open the Future " Research Group (Department of Architecture, Waseda University) , New Construction System to open the Future	Kenchiku-Gizyutsu, pp.122-130, 2006

