

# 西川材の革新：ペレ炭を通じての水と環境問題への挑戦"



大河原木材木材(株)  
代表取締役 大河原 章吉

## 水と西川材

埼玉県の南西部、入間川・高麗川・越辺川（2市2町）の流域を「**西川林業地**」約2万haと呼んでいる。

この付近には「西川」という地名はありませんが、江戸時代、この地方から**木材を筏により江戸へ流送**していたので、「**江戸の西の方の川から来る材**」という意味から、この地方の材を「**西川材**」、また、その生産地であるこの地方が「**西川地方（西川林業地）**」と呼ばれるようになった。

**首都圏に一番近い林業地**



## 飯能市の森林蓄積量と木材生産量(平28年度)

森林面積:14,562ha(市内総面積の75%)

森林蓄積量:5,460,000m<sup>3</sup>(スギ、ヒノキ80%)

年間成長量:38,297m<sup>3</sup>



市内の素材生産量:6,199m<sup>3</sup>(平27年度)

SDGs (持続可能な開発目標) 年間原木生産量=約4万m<sup>3</sup>は可能

# 水分による木材への影響

## 木材乾燥の必要性

- ① 使用場所に応じた含水率に変化する過程で生じる収縮、変形を防止する
- ② 変色菌や腐朽菌や昆虫による被害を防止する
- ③ 重量を下げる
- ④ 強度性能を上げる
- ⑤ 防腐薬剤や不燃薬剤などの注入性を上げる
- ⑥ 電気抵抗や断熱性を上げる
- ⑦ 接着性能を上げる

## 樹皮(スギ、ヒノキ)ペレット生産の背景(埼玉県飯能市)

埼玉県飯能市における樹皮(スギ、ヒノキ)ペレットの製造は、平成14年に実施された**県内の木材・木材等の焼却処理規制の対策**(*環境省・ダイオキシン類対策特別措置法施行*)として近隣市町村を含め市内業者を中心に約40社が集まり(協)西川地域木質資源活用センターを設立(平成15年)して始まった。当時、各製材所から排出される樹皮(スギ、ヒノキ)の量は埼玉県農林部調査(平成14年)によれば4200m<sup>3</sup>/年と報告されている。



集荷されたスギ、ヒノキ樹皮

# 木質ペレットとは？



木質ペレットは、乾燥した木材を細粉し、圧力をかけて直径6～8mm、長さ5～40mmの円筒形に圧縮成形した木質燃料



木質ペレットとは(社)日本木質ペレット協会規格により木部・全木・樹皮の3種類に分類されている

# 国産製材工場から排出される樹皮（スギ・ヒノキ）の利用

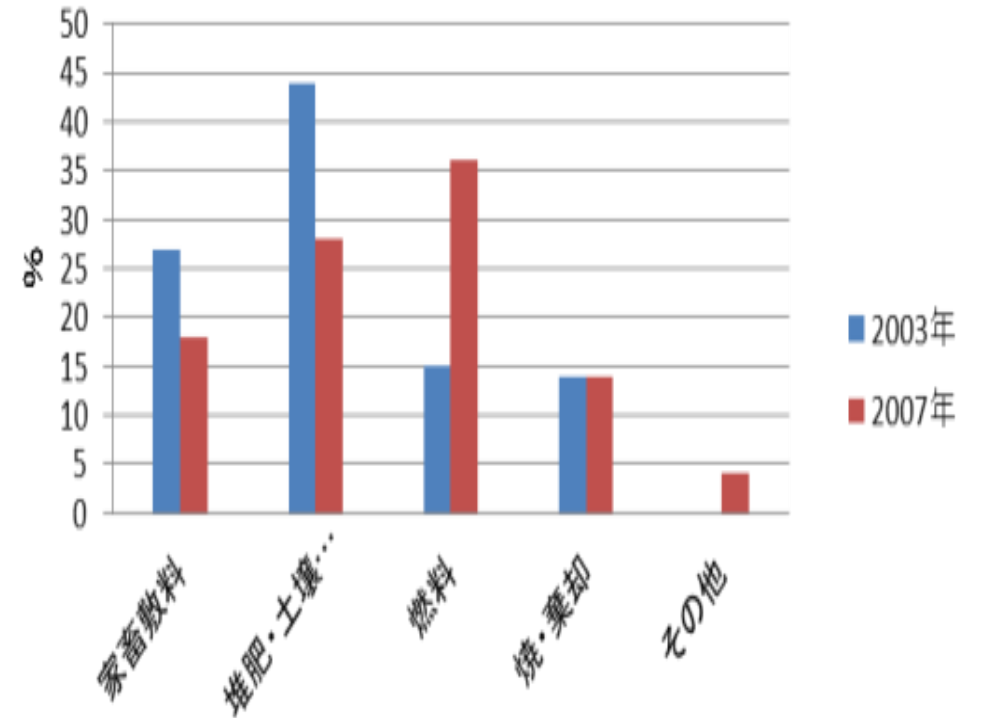
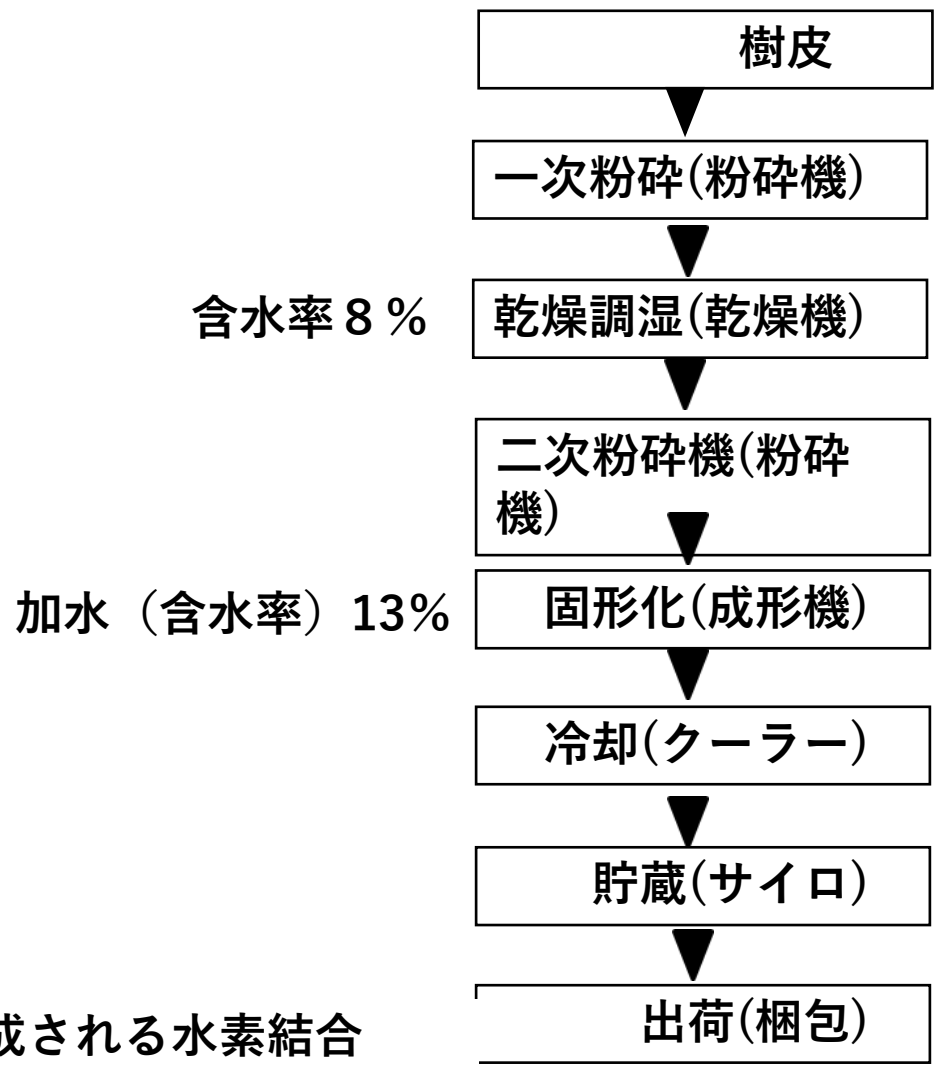


図1-3 樹皮の利用割合

# 樹皮ペレット成形のプロセス



一次粉碎機



乾燥機



二次粉碎機



成形機



サイロ

冷却(クーラー)

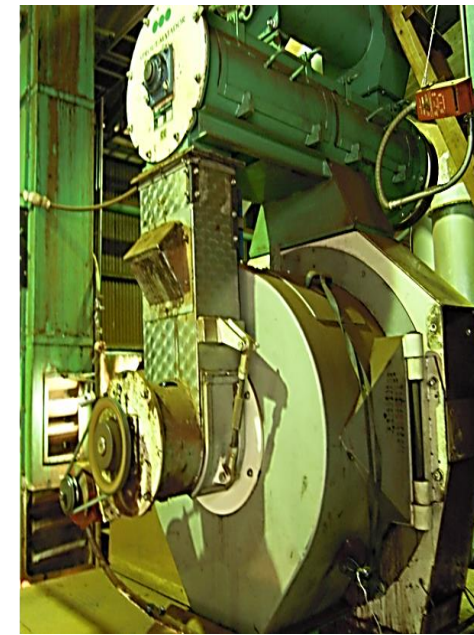
◆リグニンの軟化説

◆木材の成分間に形成される水素結合





図1-19 粉碎されたスギ、ヒノキ樹皮の拡大図



ペレット成型時のダイの温度は、通常80～120℃

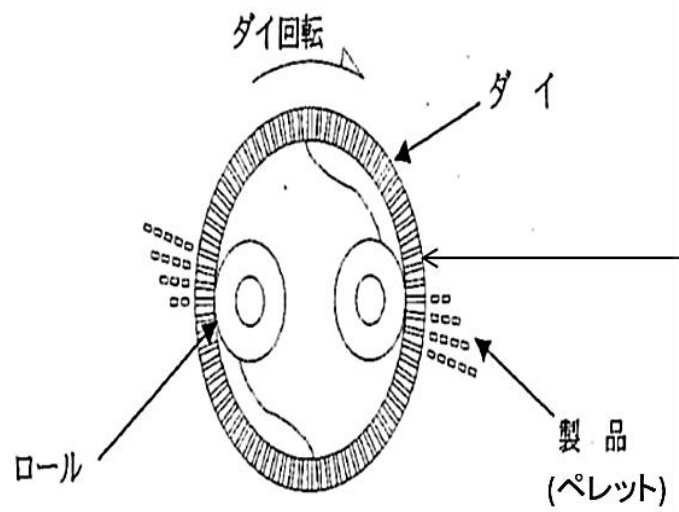


図1-24 ペレット成形の構造機構

# 樹皮ペレットと炭化樹皮ペレットの構造

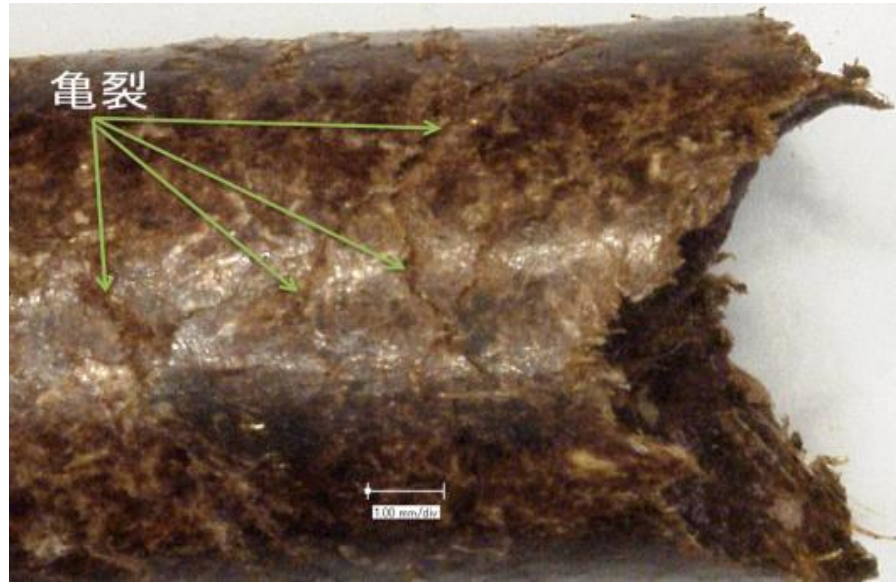


図1-25 ペレット拡大(×25)

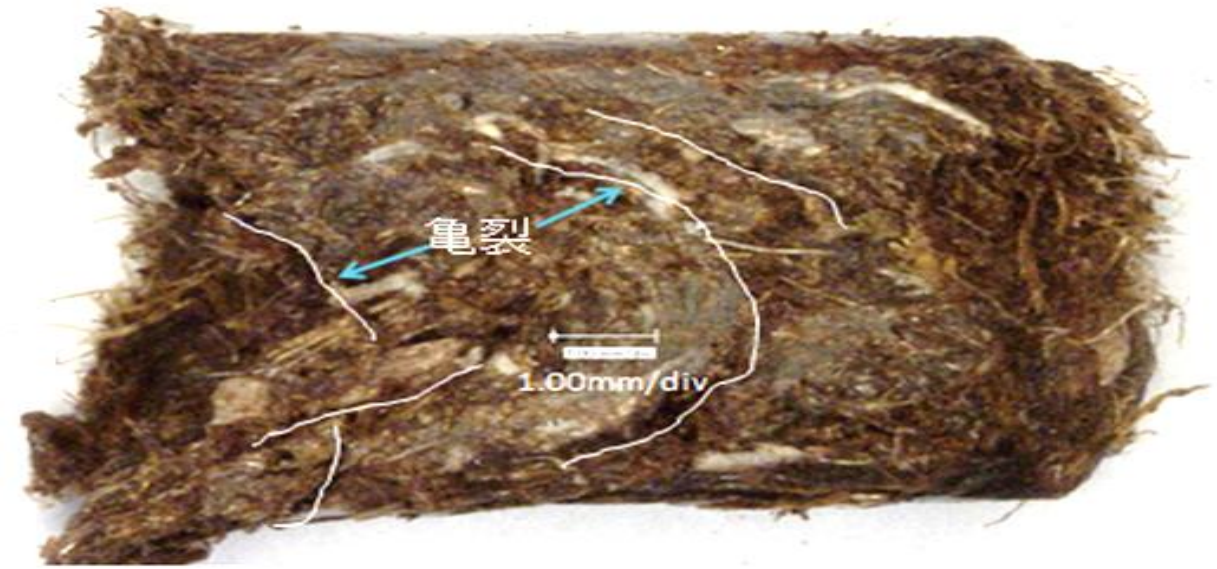
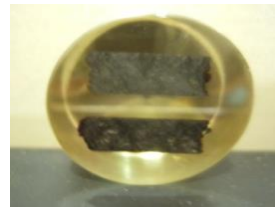
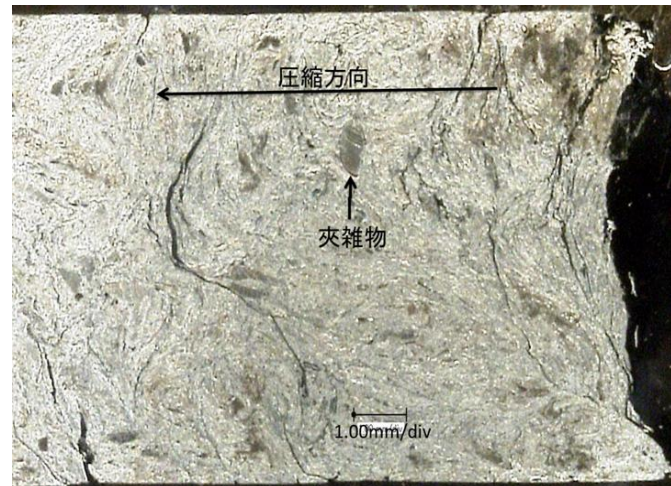


図1-27 ペレットの側断面(×25)

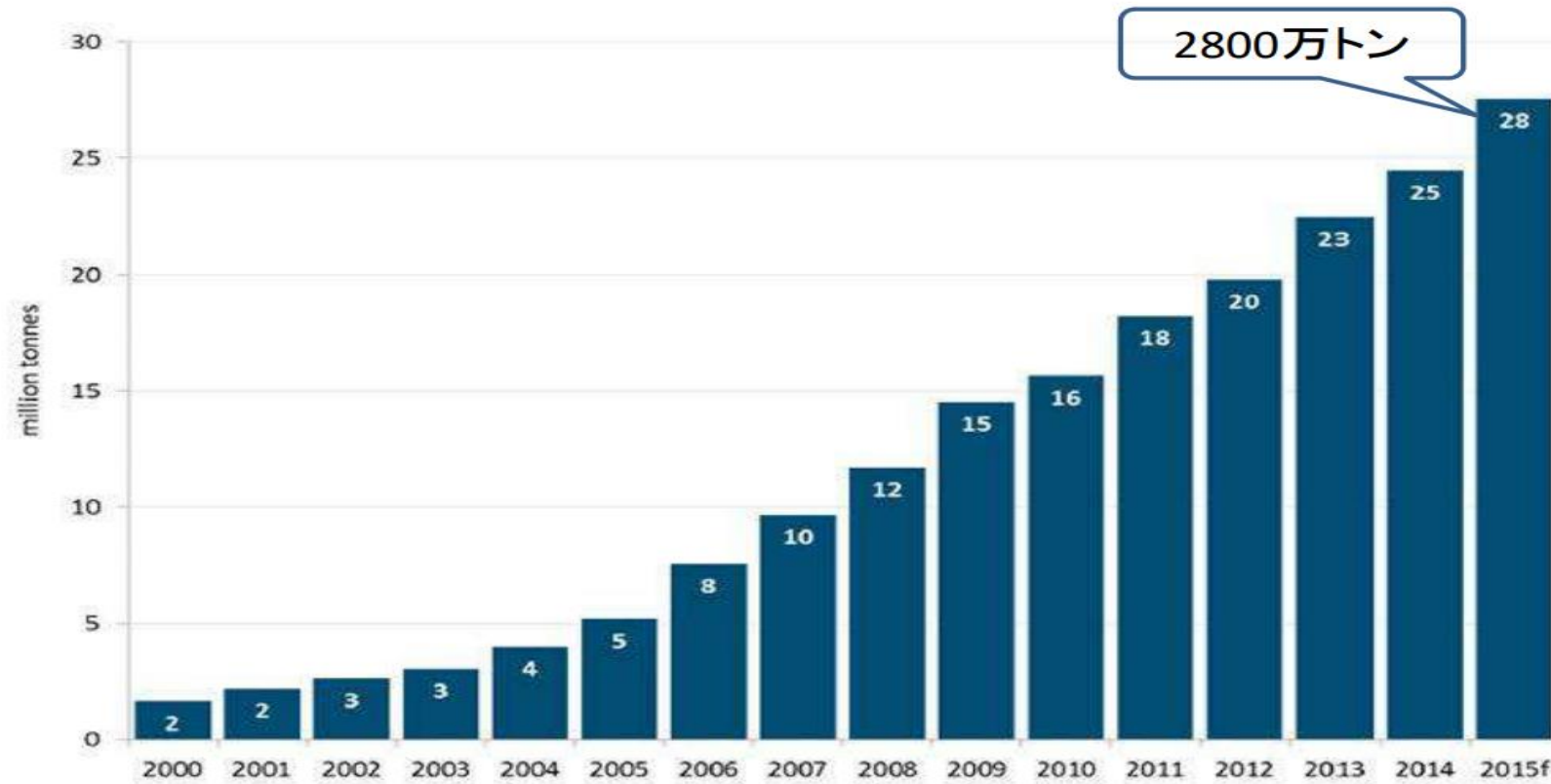


アクリル樹脂内の炭化  
樹皮ペレット



炭化温度650~700°C

## 世界のペレット生産量推移

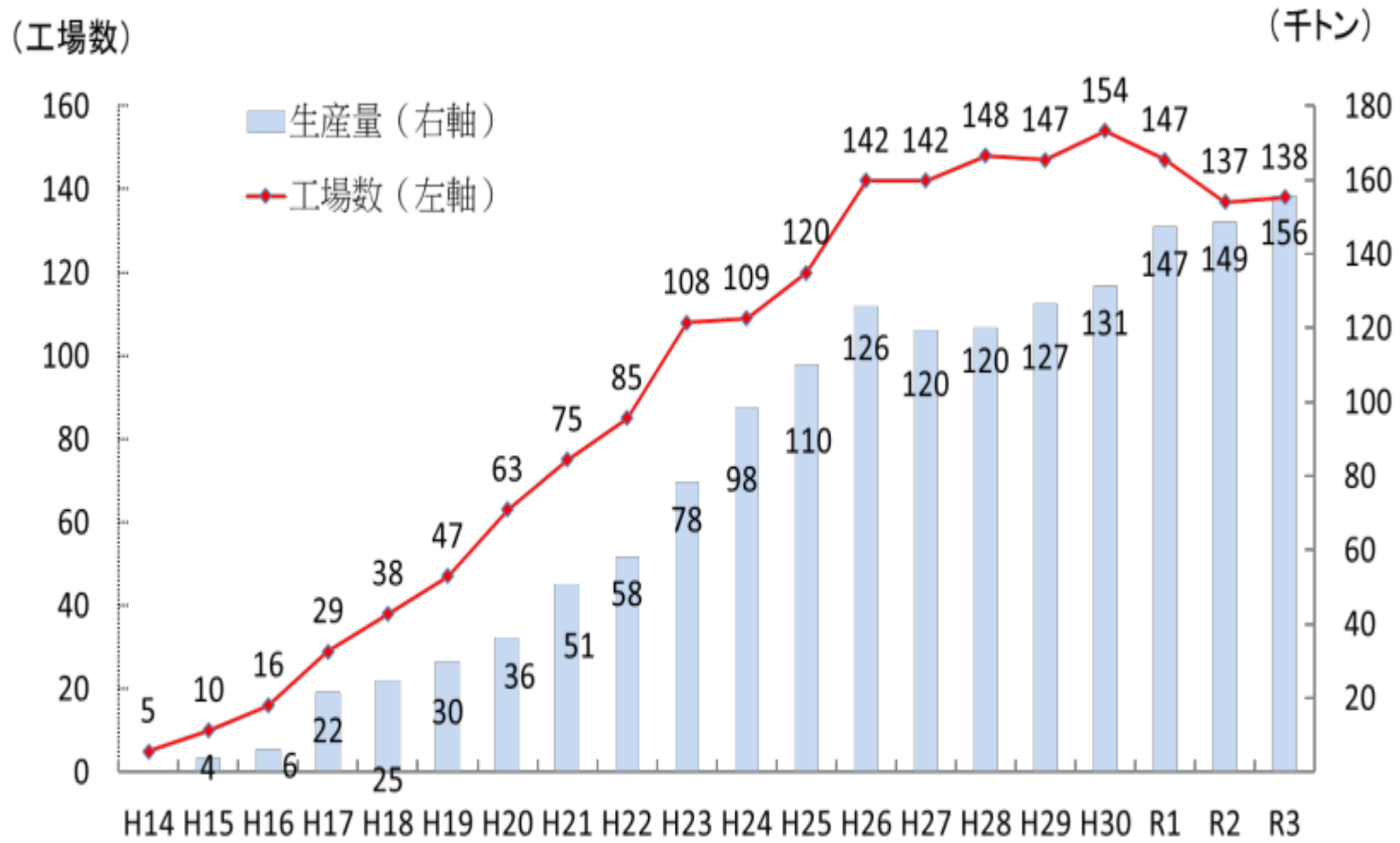


Source: REN21, FAO and Hawkins Wright

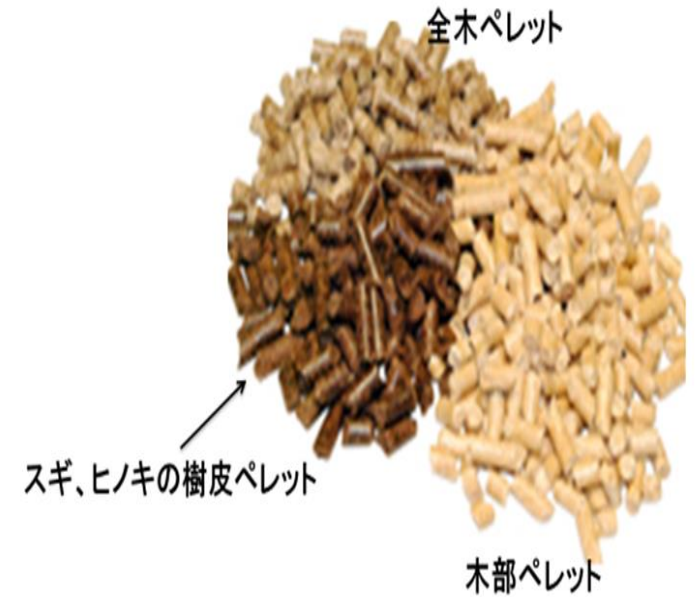
出所：自然エネルギー世界白書2022

- ◆2015年から2020年の間に、世界の木質ペレットの年間生産量は2,800万トンから4,100万トン（0.51 EJから0.78 EJ）に増加

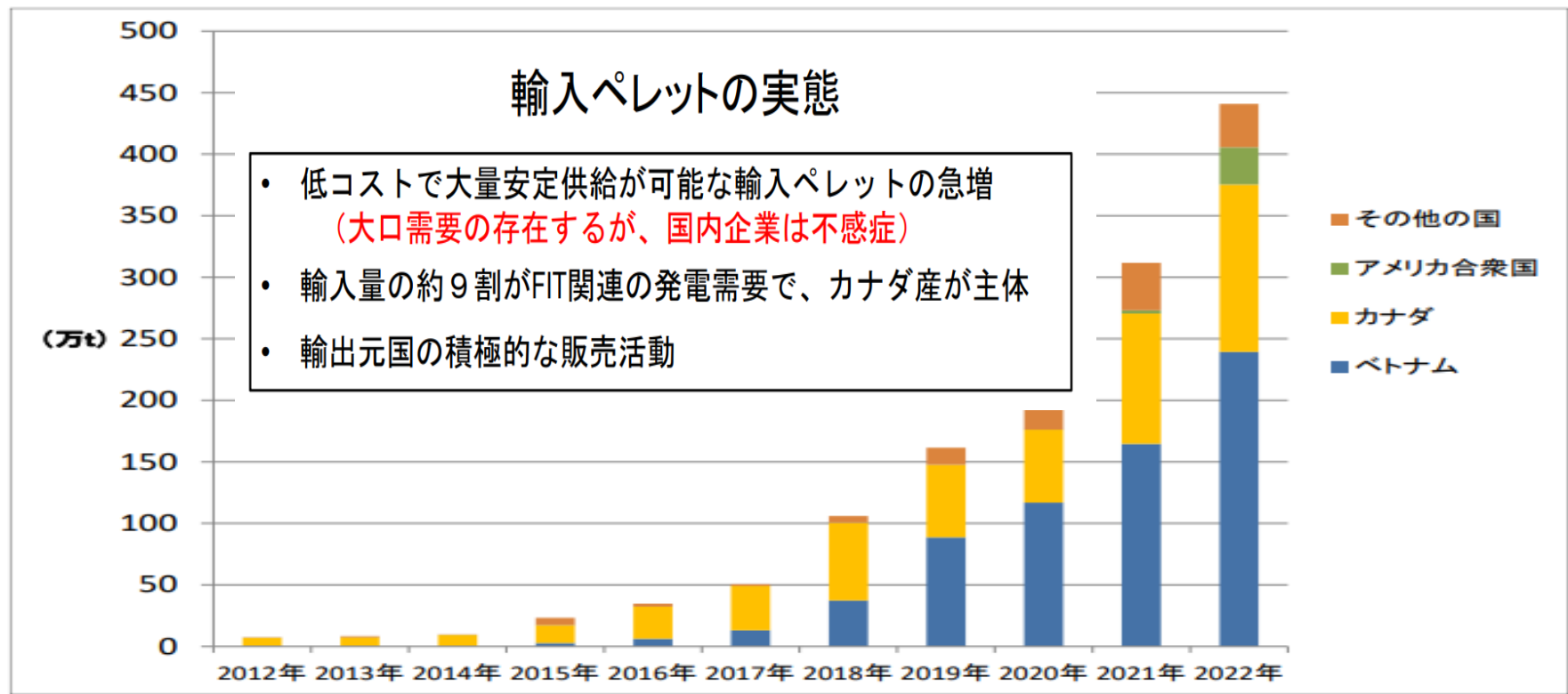
# 国内の木質粒状燃料(木質ペレット)生産量及び工場数の推移



樹皮ペレット工場 2 ?



資料：林業白書



(出典) 財務省貿易統計

図 4 地域別の木質ペレット輸入量

表 2 国別の木質ペレット輸入単価 (単位: 円/kg)

(円/kg)	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
ベトナム	12.8	17.0	21.1	19.7	14.4	15.3	18.6	18.2	17.0	18.2	25.8
カナダ	21.7	23.9	27.1	23.9	20.9	20.8	21.2	20.4	20.2	22.7	29.3
アメリカ合衆国	33.1	44.3	51.0	53.6	46.5	51.4	37.1	49.1	86.4	22.1	29.4
加重平均	21.5	23.4	26.7	23.8	19.7	19.3	20.3	19.1	18.0	19.8	27.1

(出典) 財務省貿易統計に基づいて計算

## わが国ペレット産業の抱える課題と対応

### 課題

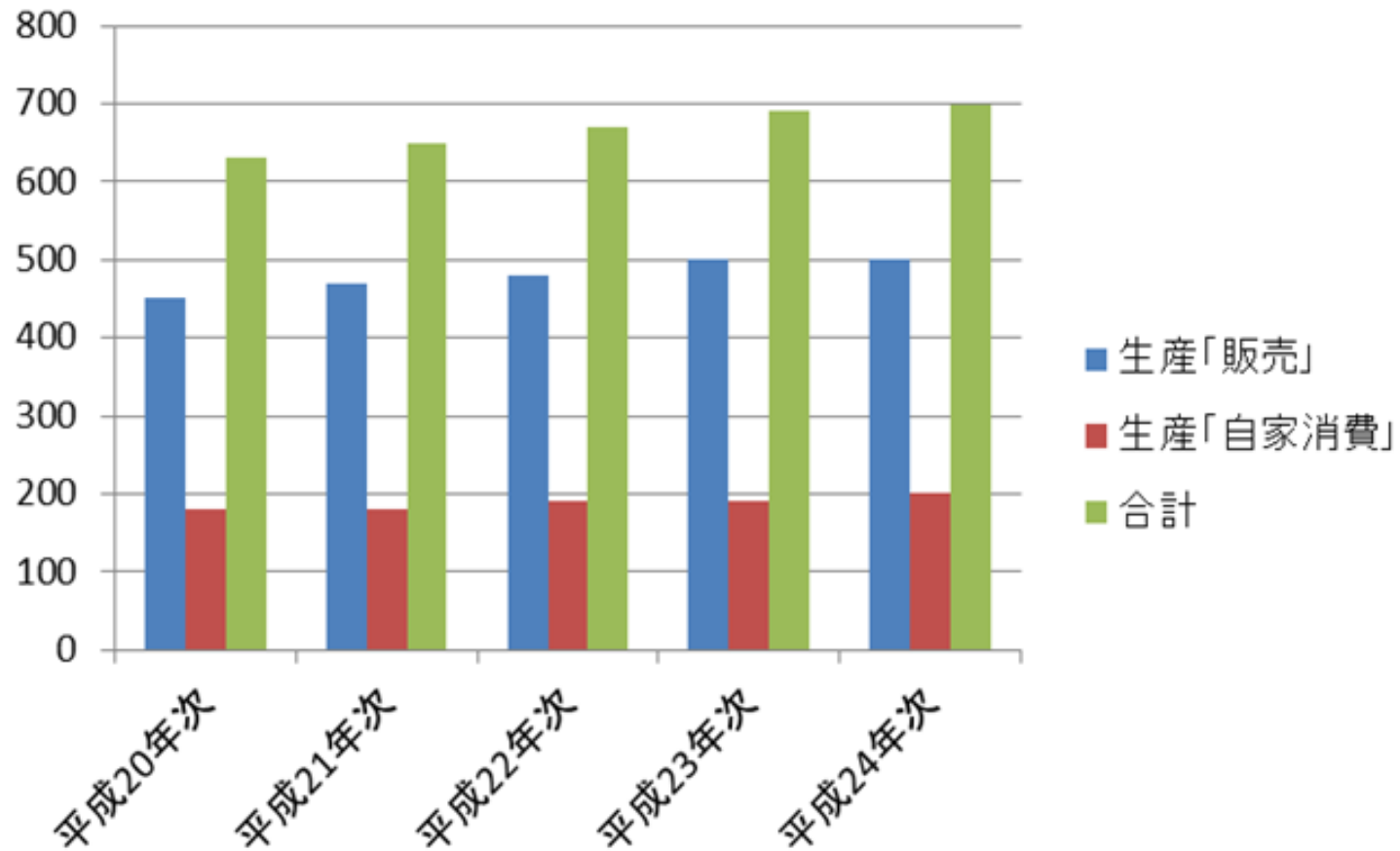
- a. 地域の季節需要を対象にした**小規模で生産性の低い工場**が大多数
- b. 製品の品質と価格は**需要者の利用意欲の増進に結びつかない**
- c. 前項も関連して**マーケットの拡張が進展しない**
- d. FITに関係した大口需要に対して、大多数のペレット工場は無関心

**対策**：現在の生産基盤を活用しながら、国産ペレット産業に活力を生む新しい生産システムの構築が必要

- a. 製品**品質の信頼性**確立と利用意欲をひきたてる**低価格化**が大前提
- b. **装置産業化、稼働率UP**（夏場稼働など）、**スケールメリット**などの効果が得られる生産方式の転換（政策誘導の実行）
- c. 通年需要が期待できる**産業用熱需要の開拓**
- d. 発電等大口需要に対する大量供給体制の整備

## 樹皮ペレットの生産量（飯能市）

埼玉県飯能市の平成24年度における樹皮ペレットの生産量は、600～700tであり500tが販売、200tが木材乾燥機用の自家消費となっている



## 樹皮ペレットの利用状況



家庭用ペレットストーブ



ペレットボイラー(さわらびの湯)



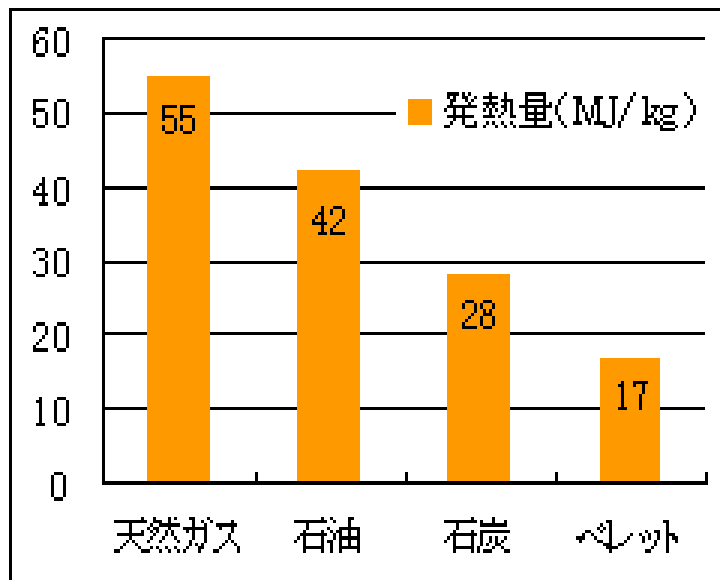
木材乾燥機



ペレットボイラー(名栗げんきプラザ)



## スギ、ヒノキの樹皮ペレットの燃焼による特性と課題



石油の約40%



①樹皮ペレット用ストーブ



②ストーブの燃焼炉



③燃焼灰受け皿



④灰及びクリンカー掻き出し装置

◆◆発熱量は、木部 > 全木 > 樹皮であり、灰分の量は樹皮 > 全木 > 木部  
ペレットの発熱量は、3,800~4,300kcal、1MJ=約240kcalとすると17MJ

◆高温燃焼時におけるクリンカー(熔融固化)の出現が燃焼障害を起こす

表 スギ、ヒノキの樹皮ペレット製造原価例（2010年度）

労務費(賃金)		5,819,126
経費		
減価償却費	6,106,457	
修繕費	3,046,764	
電力費	6,273,235	
消耗品費	394,770	15,821,226
当期製品製造原価		21,640,352
当期樹皮受入量	1,009コンテナ×4,000円	4,036,000
差引		17,604,352

製造原価（17,604,352円）／当期樹皮ペレット生産量（563.300kg） = 31円/kg

灯油価格110円/■の発熱量の約40%が木質ペレットとすると40円/kg

販売単価35～40円/kg 慢性的な採算割れ

組合員の脱会増

## 課題解決の手法

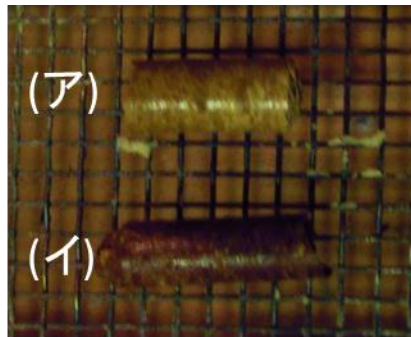
課題原因の解明と新たな利用法を目指すため、熱分解により樹皮ペレットを単純化することによって炭化物の内部構成を明確にして、①各種の燃焼実験からその特性を検討した。

また、炭の吸着作用に注目し、炭化の際に抽出した木酢液を再度、②炭化樹皮ペレットに保持させてその吸着力を確認するためにアンモニアを選択して新たな活用を目指した。

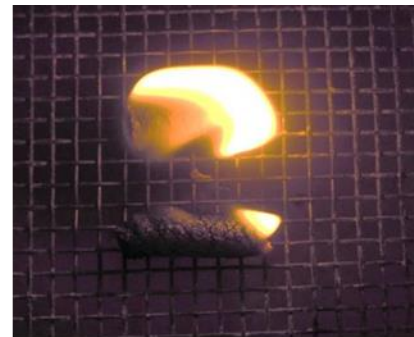
# 目視により木部ペレットと樹皮ペレットの燃焼観察

(ア)：木部ペレット

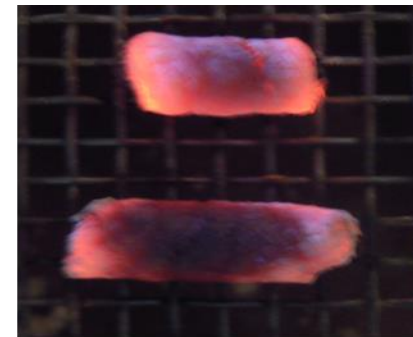
(イ)：樹皮ペレット



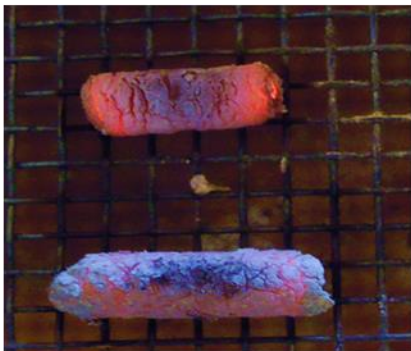
①



②



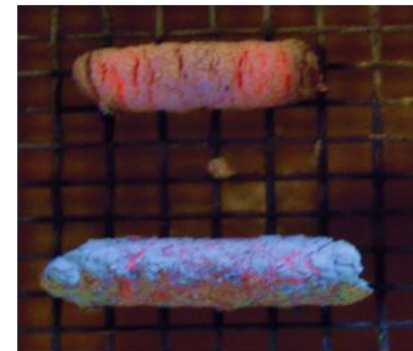
③



④



⑤



⑥

# スギ、ヒノキの樹皮ペレットと他の木質ペレットの違い

木質ペレット(ホワイト)



灰分量

0.2~0.6%

全木ペレット



2.5~4.5%

スギ、ヒノキの樹皮ペレット



4.7~7.6%

※ スギ、ヒノキの樹皮ペレットは無機成分が多い

# 炭化樹皮ペレット製造工程

樹皮ペレット



ホッパー



炭化温度約700°C



ペレ炭



# スギ、ヒノキ炭化樹皮ペレットの特性

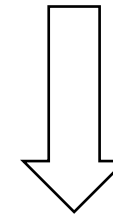
## 650℃炭化による収率(無酸素)窒素ガス

	焼成温度	重量(前)	(後)	収率 (%)
樹皮	①650℃	233.68 g	82.91 g	35.48
	②1,000℃	241.08g	67.38 g	27.94
ホワイト	①650℃	268.38g	67.86g	25.28
	②1,000℃	271.18 g	60.79g	22.41

資料：埼玉県産業技術センター

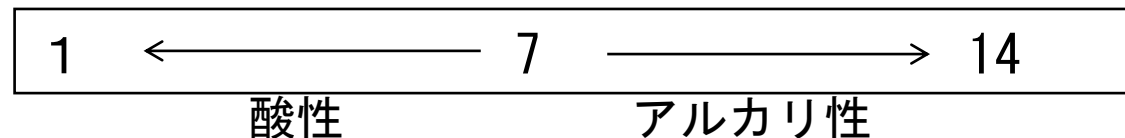
## 灰分中の主要元素の含有量 (%)

化学成分	Ca	K	Na	Mg	Si	Al	Fe
単位[% (m/m)]	23.00	3.60	0.69	1.40	10.00	2.80	2.20

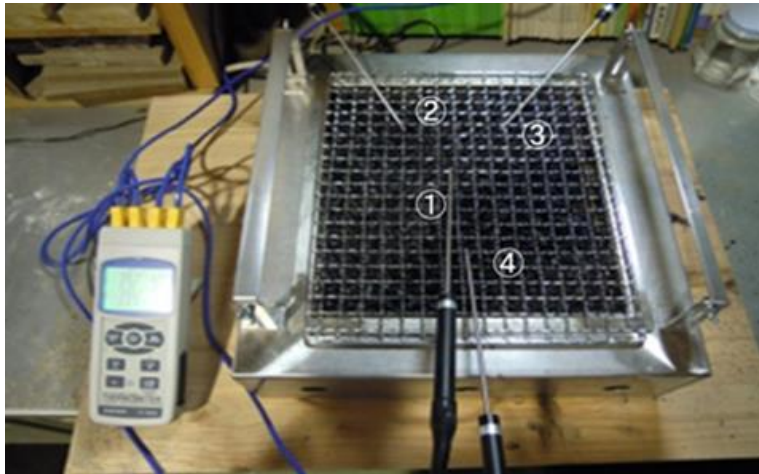


無機成分(アルカリ金属)が多い(木部の3倍)

## 炭化温度による炭のpH



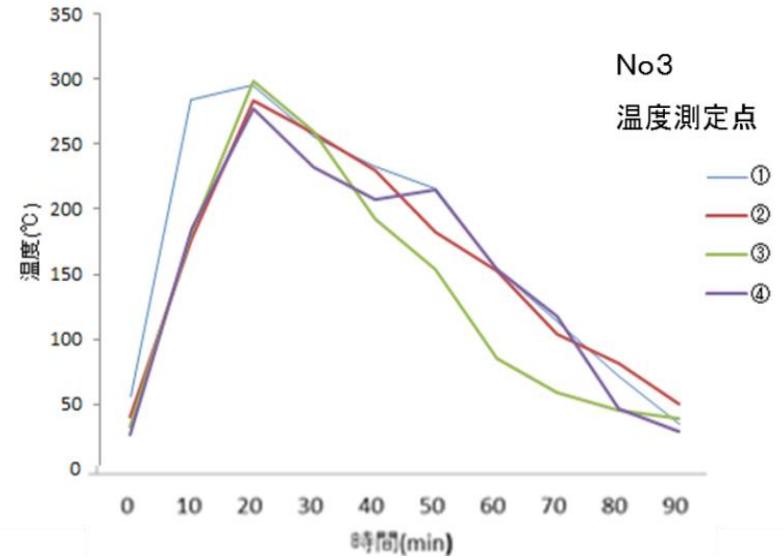
# 1. 燃焼機器による各量のスギ、ヒノキの樹皮炭化ペレット燃焼試験による温度測定



熱電対による温度測定位置

①試料200 g ②着火(20秒)③温度測定開始④測定終了時の順

燃焼開始から燃焼の全面拡大時の180℃から300℃前後で長時間安定した燃焼となり、30~40分間継続して50℃に降下するまでは1時間を要する



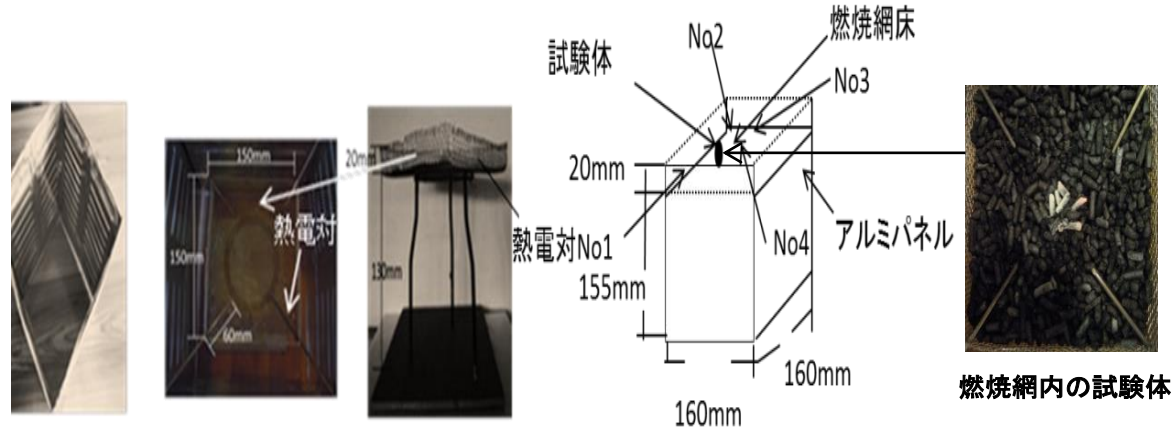
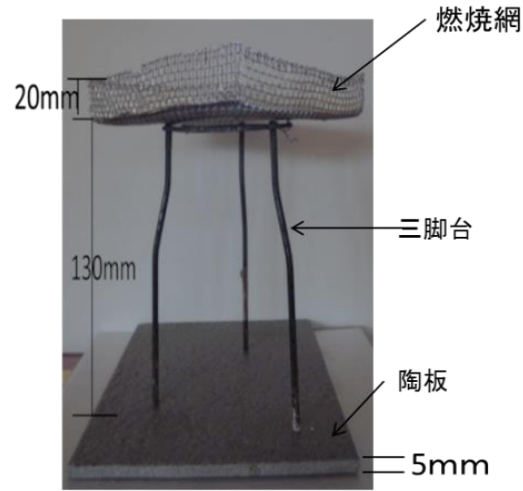
スギ、ヒノキ炭化樹皮ペレットの温度推移

No	試料重量(g)	灰残渣率(%)	気温(°C)	湿度(%)
1	200	10.8	30.8	61
2	200	10.2	19.9	79
3	200	11.0	19.9	72
4	200	10.2	29.2	70
5	200	10.3	21.6	76
6	200	10.6	21.3	73

ヒノキとスギの炭化ペレットの灰分残渣量



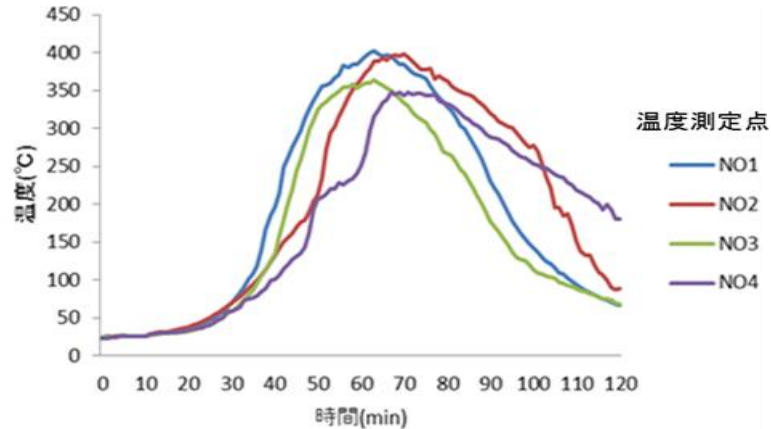
## 2. 異なる燃焼器の作製による燃焼試験



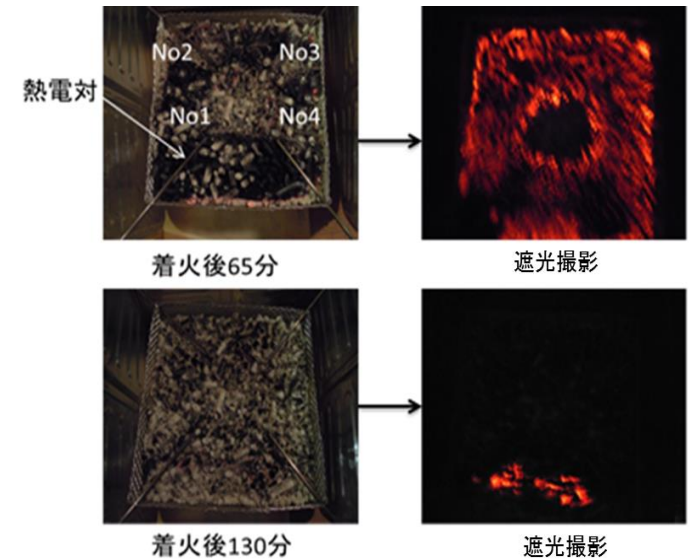
アルミニウムパネル内の燃焼器A

### 燃焼器Aの燃焼条件

試験体No	試料重量(g)	室温(°C)	湿度(%)	気圧(hPa)
1	100.4	22	29	1013
2	100.2	23	29	1020
3	100.1	23	29.5	1020
4	100.2	18	28	1022
5	100.4	22	28	1018
6	100.2	22	29	1018



燃焼器A-No1の温度分布

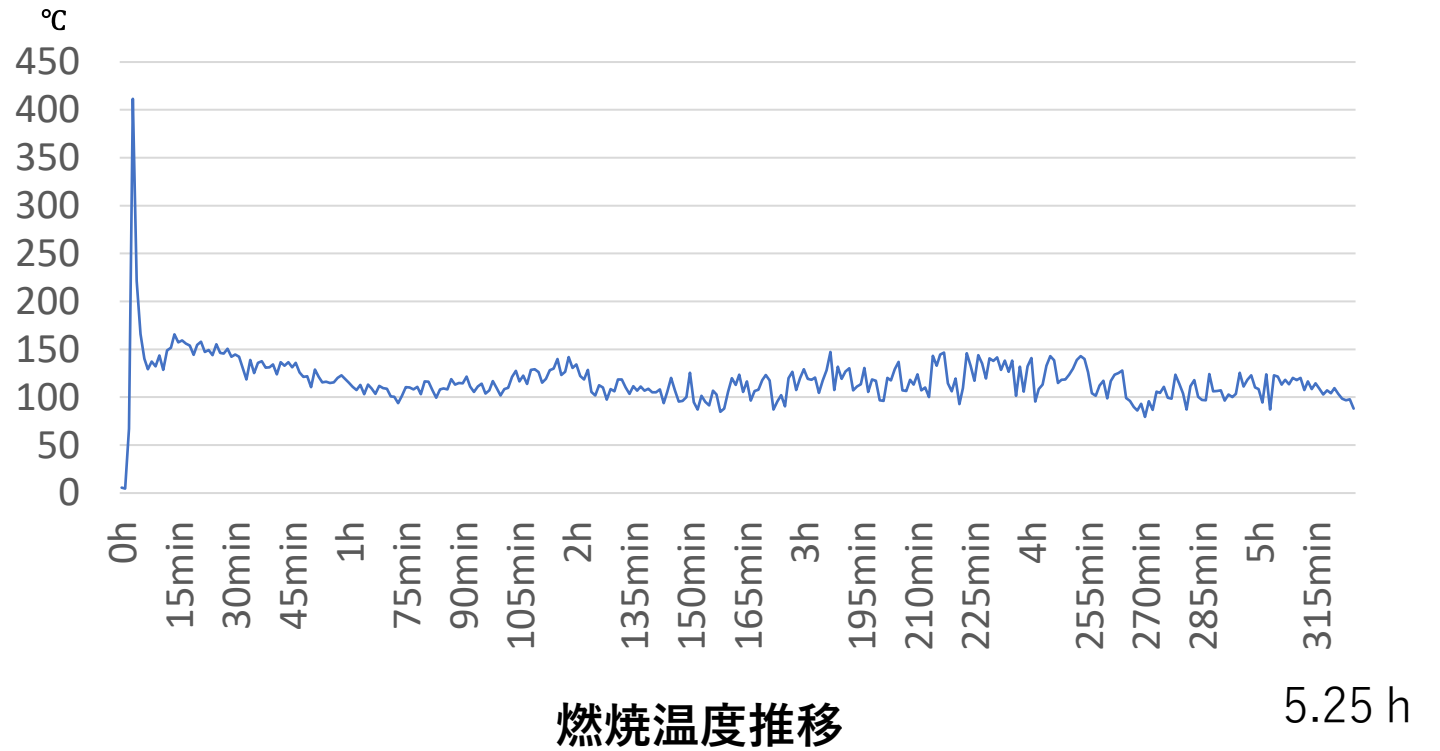


燃焼器A-No1の撮影

### 3. 円筒形金網燃焼試験



円筒形金網 (0.47mm×10メッシュ)



# ◆新しい再生可能エネルギー

スギ、ヒノキ樹皮が持つ特性を生かした新開発の炭化ペレット



## ※燃焼特性

燃焼温度を低く抑え、着火が早く、着火後燃焼面全域に均に広がり、安定した温度を維持しながら燃焼が継続される燃焼【平成27年、特許取得】

木炭と燃焼比較：着火が早い（バーナー着火で数十秒）



：平面薄層による燃焼が可能



木炭



消し炭が残る

：後始末が簡単



炭化樹皮ペレット



灰のみが残る





小型燃焼器のスキ、ヒノキ炭化樹皮ペレット (100g) 燃焼試験データ

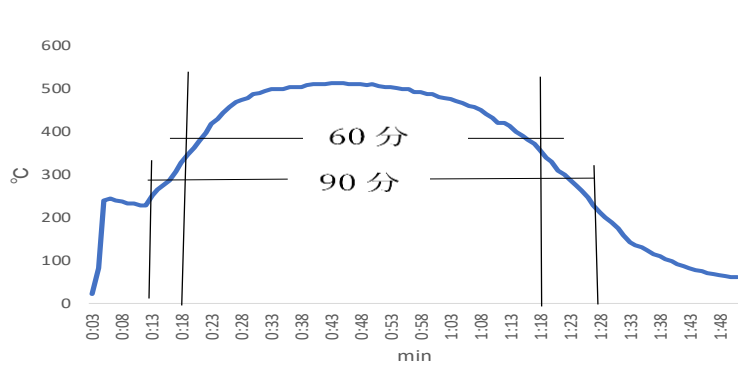
【令和元年 10 月】



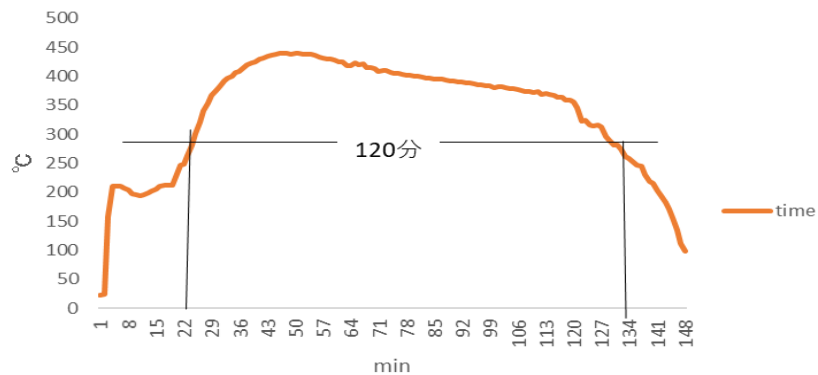
125 mm



燃焼温度測定



空気口開放時



空気口調整時

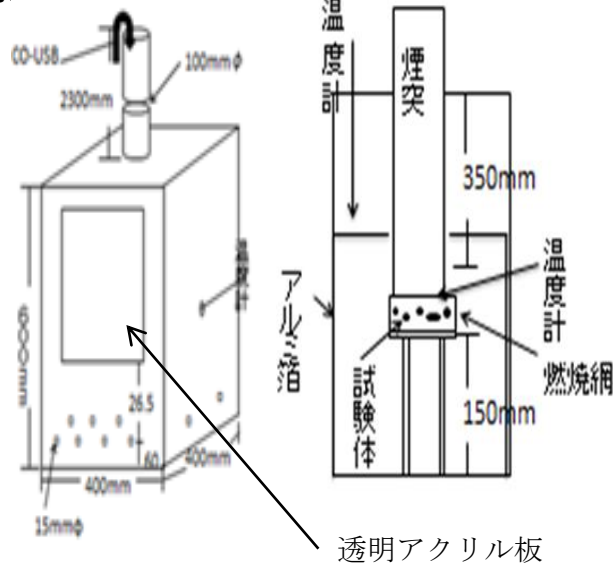


燃焼後の灰分

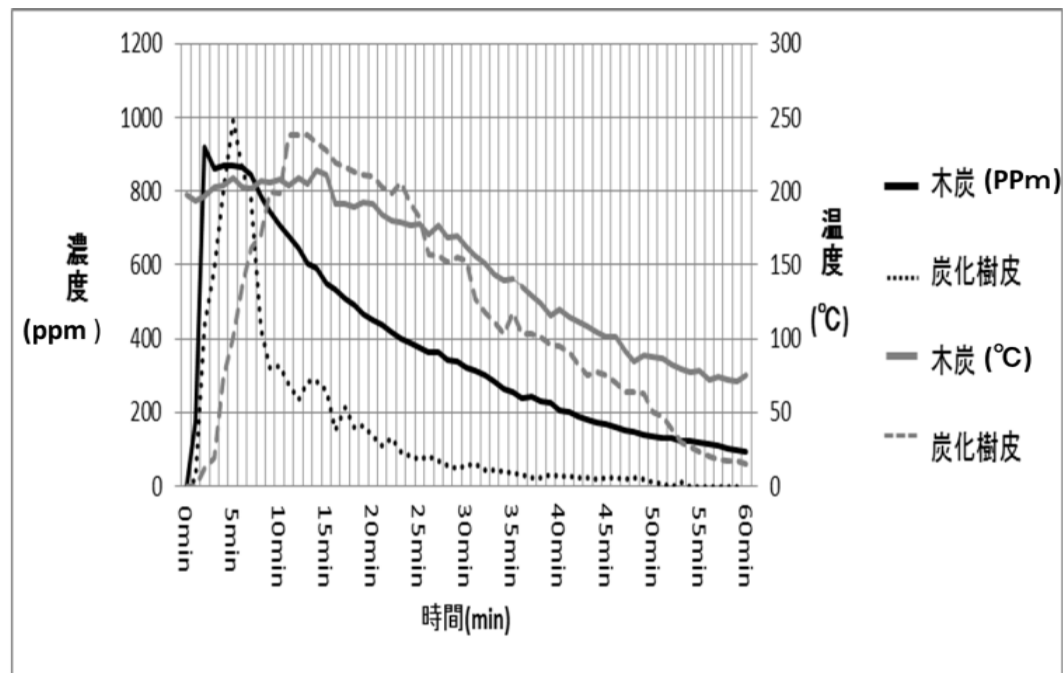
## 木炭と炭化樹皮ペレットのCO発生量の比較

CO濃度は、CO濃度計（Lascar社製、EL-USB-CO）を使用して経時的に測定した。試験体を敷き詰めた燃焼網は、燃焼箱内の中央部に高さ150mmの台に設置してCO濃度および温度の記録を開始とした。ただし、木炭の着火は炎が全体に行き渡るのに時間が掛るため2分間を要した。温度計は燃焼網の10mm上部から、CO濃度計センサーは、長さ2.3mの煙突の排気口上部から約100mm挿入して測定した。CO濃度計センサーを火元からおよそ2.3m離れた理由は、燃焼温度が50℃以上に上昇すると正常に作動しないため、火元から十分離れた上記の位置に設置した。

### CO測定機



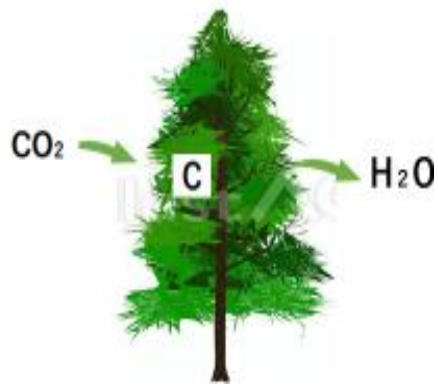
### 箱型測定装置



### CO発生量の比較

多孔質のペレ炭は1粒の完全燃焼到達時間が短いためCOの発生が少ないのではないかと推察される。

# ペレ炭の考えられる燃焼特性と用途



## 特性

1. 薄層平面燃焼
2. 安定的で継続的な温度帯
3. 着火が早い
4. CO発生量が少ない（安全性）
5. 国内最小炭
6. 燃焼灰の利用可

## 用途

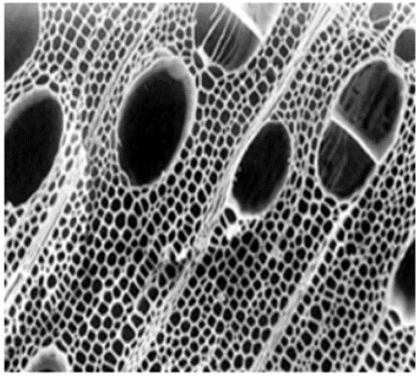
1. BBQ用
2. 卓上用
3. 吸着材
3. 災害対策用
4. 暖房用





## ②炭化樹皮(スギ、ヒノキ)ペレットの特性とその応用 Ph 緩衝性炭化樹皮ペレットの脱臭効果



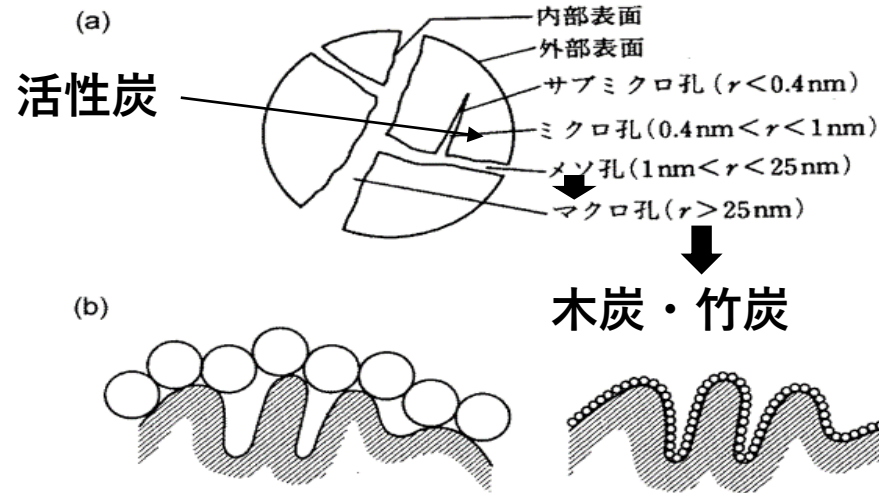


針葉樹中温炭 1 g の表面積は 2 5 0 ~ 3 0 0 平方メートル、

ペレ炭の表面積 290 m<sup>2</sup>

活性炭の表面積 1000 ~ 2000 m<sup>2</sup> / g

## 物理吸着 (physisorption)



ファンデルワールス「分子間力」

※メソ孔毛管凝縮  
※マイクロポアフィリング

※平坦表面への吸着 多分子層

## 化学吸着 (chemisorption)

吸着した分子(原子)と表面の間で電子の交換が行われ、分子と表面の間に強い結合(共有結合、イオン結合、金属結合、配位結合)

多層吸着は起こらず、一層のみ

$$\begin{aligned} \text{表面積} &= \text{m}^2 \\ \text{比表面積} &= \text{m}^2 / \text{g} \cdot \text{m}^2 / \text{cm}^3 \\ \text{比表面積} &= \text{表面積} / \text{質量} \quad \text{or} \quad \text{体積} \end{aligned}$$

## 2.1 吸着実験

①通常アンモニアガスは単体ではアルカリ性を示さないが、水分が関わると、 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ と解離してアルカリ性を示す。この弱アルカリ性を持つアンモニア10%水溶液を使用して次の方法で吸着実験を試みた。実験の試験体であるスギ、ヒノキの炭化樹皮ペレットには、アルカリ金属成分(Ca, K., Na, Mg…)が酸化物として存在し、水分を介してアルカリ性環境を作る。そのため本実験では、炭化樹皮ペレットを担体として使用し、木酢液(酸性)に浸漬して吸着保持させることにした。このスギ、ヒノキの炭化樹皮ペレットは、木酢液を吸着させると含有する強アルカリ成分と中和反応して酢酸塩を形成すると考えられる。この酢酸塩は中和しても弱アルカリ性環境を維持する。そのため、このアルカリ性環境を維持したスギ、ヒノキの炭化樹皮ペレットは、木酢液の主成分である酢酸(弱酸性)を多量に保持する機能が付加されれば、 $\text{NH}_3$ に対応して吸着力を増大させられるのではないかと考えた。この考えに基づいて木酢液中の酢酸保持は、実験により明らかした後、アンモニア吸着の可能性を検討した。

## ②Ph緩衝性炭化樹皮ペレットの作成による脱臭効果の意図

①木酢、竹酢の有機酸は酢酸が大部分を占め(一般的に6%)

分子式 $\text{CH}_3\text{COOH}$ は、水に溶解すると $\text{CH}_3\text{COOH}^- + \text{H}^+$ に分かれる。

②気体状のアンモニアは、 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}(\text{H}\cdot\text{OH}) \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ と解離してイオン化する。

( $\text{H}_2\text{O}$ )

①②を結合すると、水分を介して $\text{CH}_3\text{COOH} \xrightleftharpoons{(\text{H}_2\text{O})} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ と $\text{NH}_4\text{OH}$

( $\text{H}_2\text{O}$ )  
 $\xrightarrow{\quad}$

$\xleftarrow{\quad} \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ は、 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COONH}_4$ と $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow$

$\text{H}_2\text{O}$ となる。 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ は、解離度1.3%で98.7%を分子状態を保つため

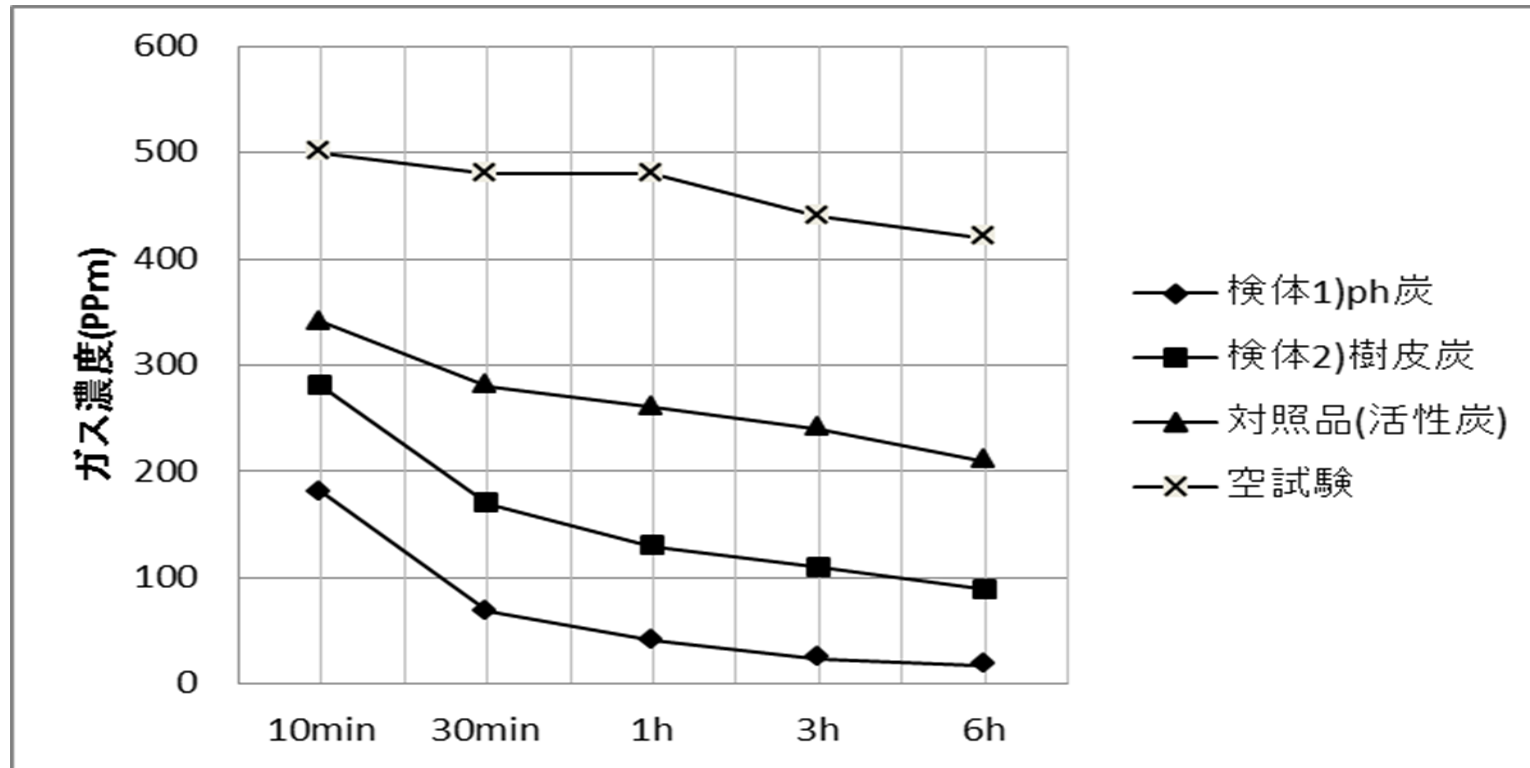
Phが6.5付近の弱酸性で安定化した緩衝材の働きをする。

この機能性はN系、アルカリ性のアンモニア化合物を吸着し酢酸アンモニア塩となり一部が解離して緩衝性を発揮する。そのため刺激臭のあるアンモニアは酢酸塩となり刺激臭はなくなる。また、腐敗臭のあるS系、硫化水素類は緩衝性のため金属塩を形成し固定化されるため無臭となる。

表 1 吸着試験条件

検体使用料	検 体 : 5 g 対照品 : 5 g
試験対象ガス (初期ガス濃度)	アンモニア(約500ppm) メチルメルカプタン(約8.0ppm)
温度条件	アンモニア : 20~23℃ メチルメルカプタン : 21~22℃
測定時間	10、30分並びに1、3、6時間(ただし、測定値 が定量下限未満になった時点で終了)

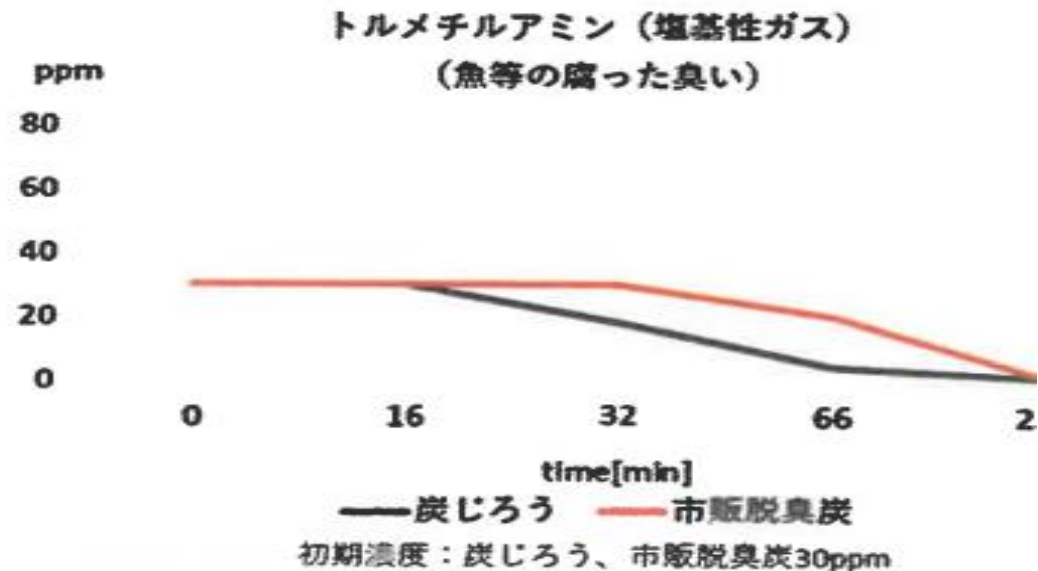
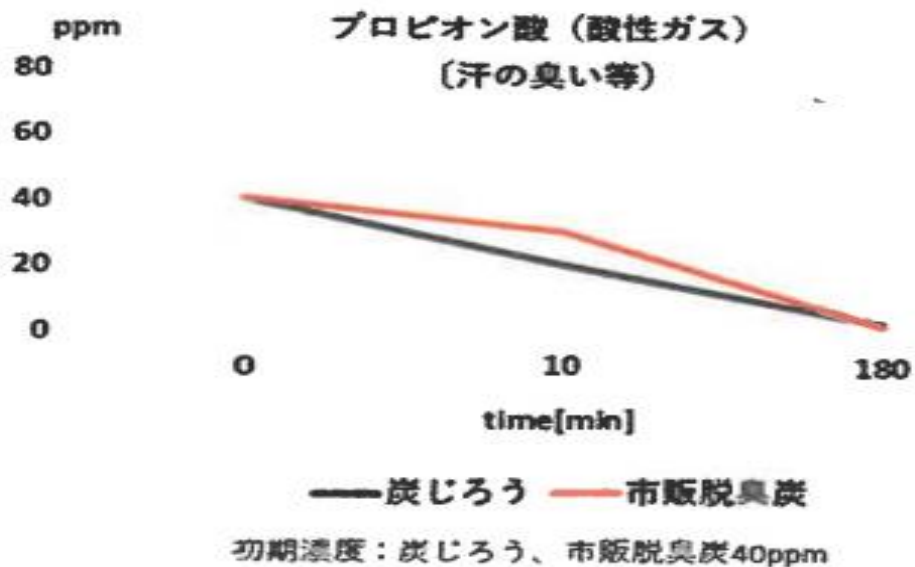
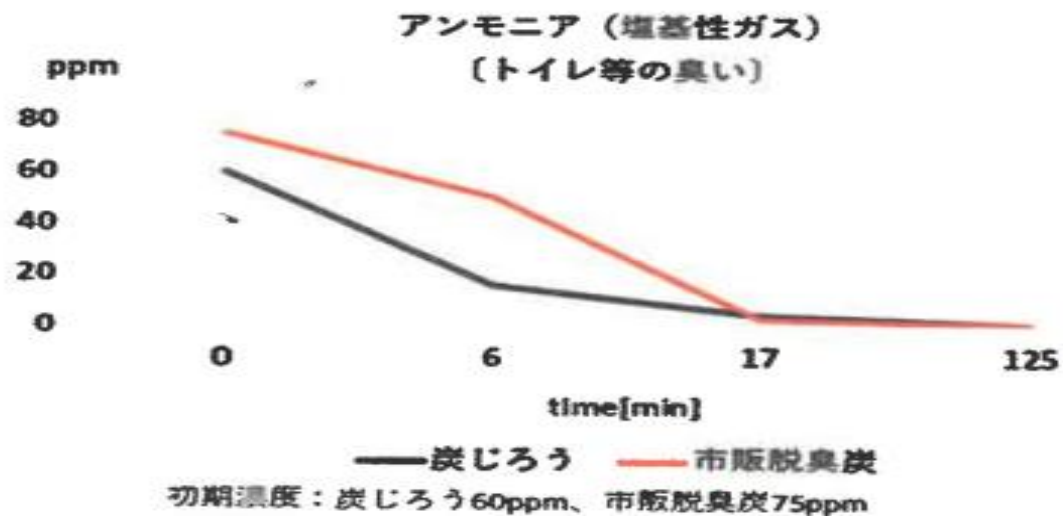
## 2.2 結果



一般財団法人 日本食品分析センター

## 2.3 考察

アンモニアはガス状態であれば吸着しやすい  
これに対して活性炭の表面は、非極性であるため、アンモニウムイオンが溶けた水を活性炭にあまり吸収せず通過する



(株)もくねん (試験データ)

### 3. まとめ

1. Ph緩衝性樹皮炭化ペレットのN系脱臭効果は活性炭より高い
2. S系は炭化樹皮ペレットの脱臭速度が速い
3. N、S系両方の脱臭には、1. 2の混合による使用が好ましい
4. 事業化には、エネルギーより脱臭吸着材利用の可能性が高い