平成23年度 緑と水の環境技術革命プロジェクト事業

# 「籾殻の還元滅菌炭化加工による高付加価値製品化と 環境保全型新産業の創出」事業報告書

(省略版)

株式会社ガイア環境技術研究所

第 1	章	事業概要	4
1-	1	背景と目的	4
1-	2	実施項目	4
1-	3	事業実施体制と実施工程	7
第2	章	還元滅菌炭化加工機「SUMIX」	8
2-	1	機械の特徴	8
2-	2	SUMIX 炭の特徴	9
2-	3	炭化施設概要	10
第3	章	実施内容	12
3-	1	現状調査	12
3-	2	既存データ	12
3-	3	籾殻炭の分析	13
3-	4	実証試験及び試作品	20
第 4	章	市場調査	50
4–	1	調査概要	50
4-	2	調査結果要約	50
第 5	章	事業化の可能性	51
5-	1	籾殻収集コスト	51
5-	2	籾殻炭製造原価	51
5-	3	事業収支	51
5-	4	事業化のメリット	51
第6	章	外部有識者検討会	53
第7	賁	<b>総括</b>	55

# 第1章 事業概要

### 1-1 背景と目的

我が国の稲作地域では、米の収穫に伴って毎年およそ200万トンもの籾殻が発生し続けている。現在、その内の37%は有効に利用されておらず<sup>1)</sup>、処分に苦慮している。一方、籾殻はJA等に集約されるため、他のバイオマス種と比べて収集コストが低く、さらに食料資源と競合しないバイオマスであり、その利用用途の拡大は社会的な課題である。

この籾殻に関しては、無酸素雰囲気(還元状態)で熱分解(炭化)を行うことでガス吸着等の様々な機能が付与されることが、すでに数多くの学術研究等で明らかになっている<sup>2)</sup>。

本事業の根幹をなす炭化については、炭素を大気中に放出せずに固体として 固定化するため、従来行われてきた焼却処分と比較して、地球温暖化対策としても大いに効果が期待できる。

本事業は、籾殻に還元滅菌炭化加工を施すことで脱臭剤や鮮度保持剤、住宅 用調湿材等々の高付加価値製品に加工し、その流通を図ることで、稲作地域に 環境保全と両立する新たな産業を創出することを目的とする。

- 1) NEDO, 2006. 籾殻賦存量・利用可能量の算出方法: GIS データベースより
- 2) 例えば「素材物性学会誌, 23[1], April 2010」など

## 1-2 実施項目

宮城県北部をモデルケースに、籾殻の賦存量及びその収集運搬コストの調査を行い、これまでに蓄積してきた(還元滅菌)籾殻炭の機能性やランニングコスト等の研究・開発・実証データを基に、調査会社に委託するなどして市場性と採算性の評価を行った。また、当社の還元滅菌炭化加工機を用いて実際に籾殻炭を製造し、籾殻炭の成分分析、製造コスト及び安全性の確認、実証試験を兼ねた籾殻炭のモニター頒布や試作品製造及びその頒布などを行った。

本事業に用いる環元滅菌炭化加工機は、無酸素雰囲気でありながら連続的な

有機物の炭化を実現しており、有機性廃棄物から高品質の炭化物が製造できる。 また、炭化物に対する各種ガスの吸着能力は炭化温度と密接に関連し、本炭化 機では炭化温度の設定で、使用目的に応じた炭化物を製造することも可能であ る。本炭化機で製造した籾殻炭の性能評価は、共同研究開発を行っている東北 大学大学院環境科学研究科・谷口研究室で行った。

本事業期間中に東日本大震災が発生し、事業を行っていた宮城県北部沿岸地域は津波により壊滅的な打撃を被った。炭化機を設置している気仙沼市本吉町も大きな被害を受けたが、幸いにも炭化プラントは難を逃れることができ、また電源や燃料の供給も再開されたため、本事業を繰り越して、4月下旬より再び籾殻炭の製造を開始した。そこで本事業により製造した籾殻炭及び試作品を、被災者支援と今後の復興へ役立てるべく様々な実証も行った。

表 1-2-1 実施項目一覧

実施項目	概要	備考
1. 現状調査	宮城県北部周辺地域における水稲の作付状況、籾殻の	3-1に記載
	賦存量等の調査を行い、現状を把握した。	
2. 既存データの整理	これまでの炭化機による籾殻炭製造能力や籾殻炭の	3-2に記載
	試験データの整理を行った。	
3. 市場調査	市場調査会社へ下記の項目について依頼し調査した。	4章に記載
	①籾殻産出市場の概要、②床下天井調湿材、③果物野	
	菜の鮮度保持材、④ホームセンターへの家庭菜園向	
	け、⑤養鶏場、養豚場における糞尿消臭材、⑥農業者	
	用植物活性化素材、⑦シックハウス対策建材素材、⑧	
	水稲の床土の消毒・活性材	
4. 籾殻炭の分析(試	実験室の試験炉(マッフル炉)で製造した炭化物の基	3-3-1に記載
験炉)	礎的物性を測定し、比較データを得た。	
5. 籾殻炭の収集運搬	籾殻を収集し、炭化プラントまで運搬・集積する。そ	5章に記載
集積	の際、収集手段やコスト等の検討を行った。	
6. 籾殻炭の製造	炭化機を用いて、各温度帯(300~700℃)の籾殻炭の	3-3及び5章
	製造を行った。	に記載
7. 化学分析	周辺環境への影響を調査するため、炭化機運転時(籾	3-3-3に記載
	殻炭化時) の排ガス分析を行う。また籾殻炭の成分及	
	び元素分析等を行った。	
8. 籾殻炭の分析(炭	炭化機を用いて製造した籾殻炭の分析を行い、試験炉	3-3に記載
化機)	で製造した籾殻炭と比較して検討を行った。	
9. 試作品の製造	床下調湿材、植物活性化材、家畜糞尿の消臭材、鮮度	3-4に記載
	保持材等の試作品を製造し、それらの検討を行った。	
10. 試作品の頒布	試作品等の頒布を行い、それらの実証試験を実施する	3-4に記載
	などして検討を行った。また、東日本大震災被災地に	
	おける支援活動の一環としても試作品頒布を行った。	
11. 報告書	籾殻炭の事業化に向けての解決すべき技術的課題・改	本稿全般及
	良すべき要素技術や、対象とするマーケットのニーズ	び7章に記載
	を踏まえた製品の仕様変更を含む社会的課題を、有識	
	者検討会の結果を踏まえて記述する。	

# 1-3 事業実施体制と実施工程

<省略>

# 第2章 還元滅菌炭化加工機「SUMIX」

### 2-1 機械の特徴

当社が開発した還元滅菌炭化加工機「SUMIX」(以下、単に「炭化機」又は必要に応じて「SUMIX」と称する)は、無酸素雰囲気でありながら連続的に炭化(熱分解)を行うことができる機械であり、有機性廃棄物等を原料に、高品質の炭を低コストで製造できることを特徴としている。この炭化機は、焼却炉(酸化反応)等とは異なる熱分解(還元反応)設備であり、無酸素雰囲気のキルン内(熱分解室)を通る素材を、外側から間接的に加熱する構造になっている。また、熱分解時に素材から発生する可燃性の乾留ガス(メタン、水素、一酸化炭素等)は、一定温度を保ちながら熱回収炉で燃焼分解され、その熱は熱分解のエネルギーとして利用される。さらに、含水率80%を超えるような高含水率の素材でも、脱水や乾燥等の前処理を経ずに一工程で炭化することができる。このような素材からも、高炭素率で多孔質構造を持った高品質の炭を低コストで製造することができるのである。

<省略>

図2-1 還元滅菌炭化加工機「SUMIX」の概要図

#### 2-2 SUMIX 炭の特徴

還元滅菌炭化加工機「SUMIX」により製造された「SUMIX 炭」は、前項で述べた通り、有機性廃棄物等から低コストで製造された炭でありながら、高炭素率で多孔質構造を有している。この SUMIX 炭は、単に燃料としての利用だけではなく、ガス吸着材や油吸着材等の様々な機能性材料として活用できることが、これまでの各種公的支援事業や大学との共同研究等により明らかとなっている。写真 2-2 に、各種有機性廃棄物から製造された SUMIX 炭の電子顕微鏡写真を示す。

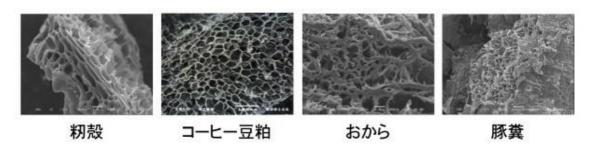


写真 2-2 各種有機性廃棄物から製造された「SUMIX 炭」

写真からも判るように、SUMIX 炭は、素材が持つ天然の多孔質構造が維持されたまま炭素化されることが一つの特徴となっている。写真に示したコーヒー豆の搾り粕(含水率65%)から製造した炭の場合、7,250kcal/kgもの発熱量を持っていることが確認されている。これは石炭をも超える発熱量である。(cf. 良質なオーストラリア産ー般炭の発熱量でも6,700kcal/kg)また、機能性材料としての一つの目安となる比表面積は、桐から製造した炭で660m²/g(炭化温度400℃,BET法)にも達することが確認されている。これは一般的な活性炭(cf.800m²/g以上)には劣るが、廃棄物を原料に、賦活工程を経ずに製造した炭としては非常に優秀な値である。

このような炭は通常バッチ式では製造されており、関連する研究報告も多数存在するが、これまで一般的には連続式でかつ安価に製造することはできなかった。従って、廃棄物を原料とした炭の有用性について多数の研究報告があるにも関わらず<sup>1)</sup>、商用ベースで実用化された事例は極めて少ない状況に留まっている。

1) 例えば「木質炭化学会」など

#### 2-3 炭化施設概要

廃棄物を取り巻く近年の社会情勢の変化や地球温暖化防止の視点から、「炭化」技術が改めて見直されてきている。このような中、当社は高性能の炭化機の研究開発を続け、これまでに行った各種公的支援事業や大学との共同研究等を通して、数々の課題を克服した還元滅菌炭化加工機「SUMIX」を開発した。

本事業に用いた炭化機は、宮城県気仙沼市に平成23年2月に導入した最新式の機械(写真2-3-1,-2)である。以下に本炭化施設の概要を記す。

#### 【大光建設炭化プラント】

- 所在地:宮城県気仙沼市内
- 主な目的: 籾殻を原料とした高品質炭の製造と籾殻炭を用いた各種製品の 製造

#### 【還元滅菌炭化加工機本体】

- 型式:SUMIX-12型
- 外寸:L:7.5m × W:1.2m × H:3.7m (煙突部含まず)+6.3m (投入コンベア) +3.6m (冷却排出コンンベア)
- 重量:約8t

#### 【熱回収炉】

- 燃焼方式:直接燃焼方式
- 乾留ガスの燃焼目的:廃熱回収、ガス無害化、脱臭
- 灯油タンク容量:400L(炭化機と共用)
- 熱回収炉の構造:(環境省の小型廃棄物焼却炉基準に準拠)
  - ① 燃焼ガスを摂氏 850℃・2 秒以上の滞留時間で燃焼させることができる
  - ② 燃焼に必要な空気の量をコントロールできる送風機を設置
  - ③ 外気と遮断して定量ずつ乾留ガスを供給できる構造
  - ④ 燃焼ガスの温度を測定できる温度計を設置
  - ⑤ 燃焼ガスの温度を保つために必要な助燃バーナーの設置
  - ⑥ 灰分のないガスのみの燃焼なので、ばい煙のほとんど出ない構造
  - ⑦ 水蒸気によるスクラバー装置を設置

# ⑧ 加熱防止のためのウォータージャケット構造



写真 2-3-1 炭化プラント



写真 2-3-2 還元滅菌炭化加工機「SUMIX」12型

# 第3章 実施内容

### 3-1 現状調査

<省略>

# 3-2 既存データ

3-2-1 炭化能力

<省略>

3-2-2 籾殻炭製造コスト

<省略>

#### 3-2-3 籾殼炭分析結果

本プロジェクト事業以前に実施した SUMIX 籾殻炭分析データを表 3-2-3 及び表 3-2-4 に示す。

表 3-2-3 SUMIX 籾殻炭中のベンツピレン分析

試料	試験結果	検出限界	試験方法	
300℃籾殼炭	検出せず	0.01555	ガスクロマトグラフ質量分析法	
600℃籾殻炭	検出せず	0.01ppm	ガスグロマドグブン貝里が何伝	

表 3-2-4 SUMIX 籾殻炭(500℃)の化学分析表 <省略>

### 3-3 籾殻炭の分析

ガス置換マッフル炉(以下 MUFFLE)と SUMIX で製造した籾殻炭(以下それぞれ MUFFLE 籾殻炭及び SUMIX 籾殻炭)の基礎的物性(pH、BET 比表面積、t-細孔容積)を比較して、SUMIX 籾殻炭の基本的性質を確認した。

SUMIX 籾殻炭について性質の異なるガス (アンモニア、酢酸、エチレン) の吸着実験を行い、その性能を評価した。

また、籾殻炭製造時の排ガスと SUMIX 籾殻炭の化学分析を行った。

#### 3-3-1 籾殻炭の基礎的物性測定

<実験方法の詳細は省略>

#### 【pH 測定】

炭化温度 300~700℃ (cf. MUFFLE・900℃) で炭化した MUFFLE 籾殻炭と SUMIX 籾殻炭の pH 測定結果を図 3-3-1 のグラフに示す。

# <省略>

図 3-3-1 籾殻炭の pH

#### 【比表面積/細孔容積測定】

炭化温度 300℃~700℃ (cf. MUFFLE•900℃) で炭化した MUFFLE 籾殻炭と SUMIX 籾殻炭の BET 比表面積を図 3-3-2、t-細孔容積を図 3-3-3 に示す。

<省略>

図 3-3-2 籾殻炭の BET 比表面積

<省略>

図 3-3-3 籾殻炭の t-細孔容積

#### 【所見】

以上に示した籾殻炭の基礎的物性測定から、SUMIX 籾殻炭は MUFFLE 籾殻炭と比較して、比較的低い温度で熱分解が進行していることが判る。即ち、MUFFLE 籾殻炭の場合、炭化温度の上昇に伴いほぼ線形に pH、比表面積、細孔容積の上昇が認められるのに対して、SUMIX 籾殻炭の場合は、炭化温度 500℃程度で熱分解が飽和し始めている。これは SUMIX の場合、MUFFLE 炉とは異なり、ロータリーキルン内で適度に撹拌が加わるために材料に対する熱伝導がよく、更には原材料中の水蒸気や乾留ガスによりキルン内で一部賦活化が同時進行しているためと推察する。

本測定結果から、SUMIXで製造された籾殻炭は、実験室にて同炭化温度帯で MUFFLE 炉によって製造された籾殻炭を全体に凌駕する性能を有していることが 判明した。SUMIX の場合にも炭化温度が高くなれば更なる性能の向上が期待できるが、実際にはランニングコストや機械寿命の観点から適切な炭化温度が定まるだろう。

#### 3-3-2 SUMIX 籾殻炭のガス吸着実験

各炭化温度で製造した SUMIX 籾殻炭について、性質の異なる3種のガスの吸着実験を行った。また、必要に応じて、市販の活性炭等との性能比較も行った。 <実験方法の詳細は省略>

#### 【エチレン】

図 3-3-4 に各炭化温度の SUMIX 籾殻炭によるエチレンガス吸着実験結果を示す。また、図 3-3-5 に SUMIX 籾殻炭と市販の鮮度保持剤等との比較実験結果を示す。

<省略> 図 3-3-4 SUMIX 籾殻炭によるエチレンガス吸着

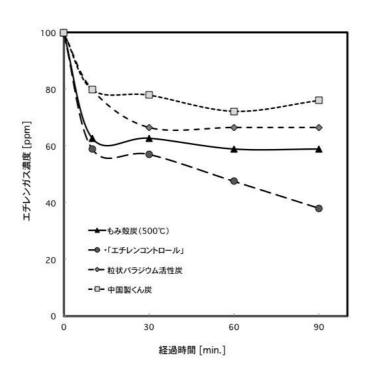


図 3-3-5 エチレンガス吸着力比較

### 【アンモニア】

# <省略> 図 3-3-6 アンモニアガス吸着力

#### 【酢酸】

# <省略> 図 3-3-7 酢酸ガス吸着力

#### 【所見】

まず、野菜や果物の腐敗を進行させるエチレンガスの吸着実験について述べる。SUMIX 籾殻炭は、良好なエチレンガス吸着力を有していることが判明した。炭化温度铋℃(図 3-3-4)で製造したサンプルが最も良い結果であった。これは比表面積測定結果(図 3-3-2)とも一致している。図 3-3-5 に示した吸着力比較では、籾殻炭は、鮮度保持材として最もメジャーである「エチレンコントロール」には及ばなかったものの、消臭や鮮度保持に活用されている市販の活性炭「脱臭炭・野菜室用」を凌ぐ吸着力を有していることが確認された。本還元滅菌炭化加工機「SUMIX」は、廃棄物として処理されている籾殻等を原料に、連続的かつ低消費エネルギーで、賦活工程を経ずに良質な炭化物を製造することができる。従って、従来の活性炭等と比較して安価に供給することが可能である。絶対的な性能では「エチレンコントロール」に軍配が上がるが、安価な炭化物をある程度早いサイクルで使用することにより、充分な費用対効果を得ることができると考える。

次に、悪臭の主原因の一つであるアンモニアガスの吸着実験について述べる。 図 3-3-6 に示した結果から、SUMIX 籾殻炭は優秀なアンモニアガス吸着力を有していることが判明し、秘℃で炭化したサンプルが最も良い結果であった。<途中省略>

最後に、紙やフィルムの劣化を引き起す酢酸ガスの吸着実験について述べる。

図 3-3-7 に示した結果から、籾殻炭は優秀な酢酸ガス吸着力を有していることが判明し、趣で炭化したサンプルが最も良い結果であった。また、市販活性炭との比較実験では、比表面積の小さい趣℃の籾殻炭でも、市販活性炭より優れたガス除去率を示した。

#### <途中省略>

以上から、SUMIX 籾殻炭は、性質の異なる3種のガスについて良好な吸着力を有していることが判明し、鮮度保持剤、消臭材、劣化防止剤等としての利用の可能性が示された。また、市販の鮮度保持剤や活性炭等と比較しても、少なくとも短期吸着力においては市販品を凌駕する実験結果も得られており、このような性質は、青果市場等での鮮度保持剤や消臭材としては、むしろ好ましい性質であると考えることもできる。

### 3-3-3 SUMIX 籾殻炭及び SUMIX 排ガスの化学分析

還元滅菌炭化加工機「SUMIX」12型による籾殻炭及び籾殻炭化時の排ガスの分析を行い、それらの安全性を確認した。

排ガス分析及び籾殻炭採取日:平成23年2月25日

測定場所:炭化プラント

測定者:東北緑化環境保全株式会社·測定分析事業部



写真 3-3-6 排ガス分析の様子

表 3-3-1 籾殻炭の化学分析表(Appendix 1) <省略>

表 3-3-2 籾殻炭化時の排ガス分析(Appendix 1) <省略>

# 3-4 実証試験及び試作品

3-3でSUMIX 籾殻炭の性能と安全性が確認されたことにより、下記の実証試験、 試作品製造及びモニター頒布を行った。尚、以降単に「籾殻炭」と表記する場合は、本還元滅菌炭化加工機で製造された SUMIX 籾殻炭を指すものとする。

#### 3-4-1 床下調湿材 (籾殻炭消臭調湿材) 及びその実証試験

#### 【調湿試験】

試料: 籾殻炭を内寸 150×150mmの床下調湿炭用不織布袋に充填、シールした ものを用いた。比較試料は、市販の床下調湿材の販売・見本品をそのまま使用 した。(写真 3-4-1)

<実験方法の詳細は省略>





写真 3-4-1 調湿試験試料

# 表 3-4-1 調湿試験試料一覧 <省略>

各試料 100g 当りの吸放湿量を図 3-4-1 に示す。試験結果より、炭化温度極℃の籾殻炭について、市販の床下調湿材と同等以上の吸放湿気性能が確認された。特に床下調湿用として期待される高湿条件での性能は非常に優れていることが判明した。

#### <途中省略>

以上の調湿試験より、<br/>
・<br/>
図で<br/>
れ殻<br/>
には、<br/>
市販の<br/>
床下調湿材を<br/>
を<br/>
っていることが確認された。

#### <省略>

図 3-4-1 中湿域 (75%) 及び高湿域 (90%) における吸放湿量比較

#### 【試作品製造】

3-3 で示したガス吸着実験及び前段の調湿試験を受けて、床下調湿材として 500×500mm サイズの不織布に、炭化温度֎ Cの籾殻炭を約 10L 詰めて封じた試 作品を製造した (写真 3-4-4)。尚、本品の特徴としては、調湿効果だけではなく強い消臭効果も期待できるため、以後、本試作品名称を「籾殻炭消臭調湿材」と呼称する。



写真 3-4-4 消臭調湿材試作品

#### 【実証試験】

この度の東日本大震災による津波では、宮城県気仙沼市は甚大な被害を受けた (写真 3-4-5)。気仙沼市だけでも死者行方不明者は一千人を超え、住宅・建物の全半壊数は 10,751 (2011 年 8 月 10 日現在) にも及んでいる。また、気仙沼港は日本有数の漁港であるため、沿岸部には数多くの水産加工工場が立地していたが、ほとんどが大津波により全壊してしまった。今回の津波では、このような加工場から大量の水産物(イカやサメの腑、サンマやホタテ等の加工残渣、オキアミ等々)や重油、汚水等が流出し、市街には悪臭が漂っている。

さて、多くの家屋が津波で消失してしまった一方で、床上浸水だけでなんとか難を逃れた家屋も少なくない(図 3-4-2)。そのような家屋では、全国各地から駆けつけたボランティアの献身的な作業等により、室内のヘドロはキレイに取り除かれ、後は畳やフスマ等を交換してしまえば室内は一見何事もなかったかにも見える場合も多い。しかし、悪臭と湿気までは取り除くことができず、

### 居住者を悩ませ続けている。

我々は気仙沼市内の避難所を周り、このような住宅や店舗の協力を頂いて、 籾殻炭消臭調湿材の実証試験を行った。尚、調湿効果の数値化は困難であるため、本試験では消臭効果の検証のみを行っている。



写真 3-4-5 宮城県気仙沼市の被災状況

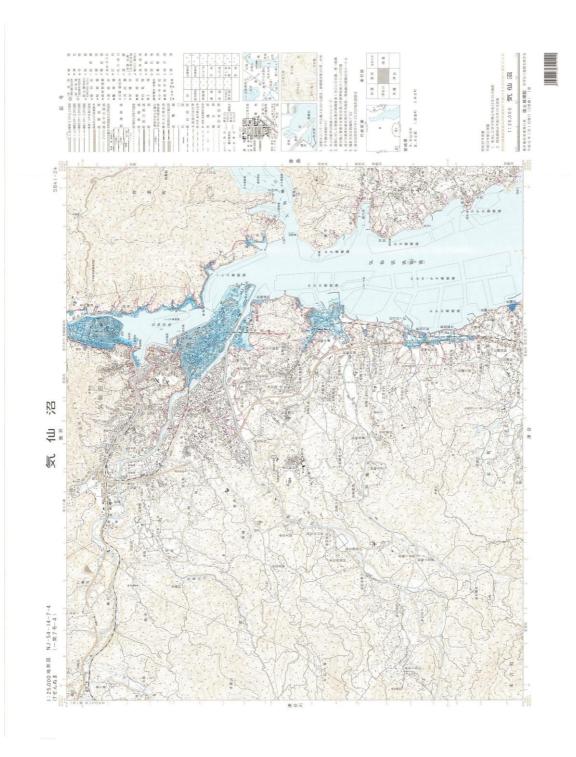


図 3-4-2 気仙沼市津波被災地図 (青色部分が消失区域、赤枠内が全半壊又は床上浸水区域)

#### 実証試験場所:

- (1) 気仙沼ラーメン「めん八珍」
- (2) 市内小野寺さん宅
- (1) めん八珍さん(写真 3-4-5)は写真黄色矢印の位置まで津波が到来し、様々な汚水を含んだ海水が店舗内に床上浸水したため、店内には異臭が漂い、飲食店としての再開が危ぶまれていた(平成 23 年 5 月現在)。



写真 3-4-5 めん八珍さんにおける消臭調湿実証試験の様子

(2) 小野寺さん宅(写真 3-4-6) は、比較的港に近い市内繁華街に位置するために被害が大きく、一階の店舗部分は津波でほぼ全壊し、二階の住居部分まで浸水した。









写真 3-4-6 小野寺さん宅における消臭調湿実証試験の様子

実証試験期間:平成23年5月24日~31日

試験方法: <試験方法の詳細は省略>

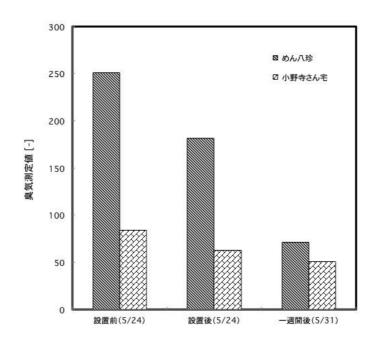


図 3-4-3 籾殻炭消臭調湿材による消臭効果

実証試験結果を図 3-4-3 に示す。本試験により、籾殻炭消臭調湿材の優れた消臭効果が認められた。尚、一般に臭気の数値化は難しく、特に成分の判らない悪臭については個人の感覚による要素が大きく、定量比較は非常に難しい。従って、本実証試験に関しては、数値に現れにくいユーザーの感想等も付記しておく。

めん八珍さんでは、本実証試験により大幅に悪臭が低減し、復興へ向けて速 やかに営業を再開した。現在も店舗の床下に籾殻炭消臭調湿材が設置されてお り、店内の消臭と調湿に多いに貢献している。

小野寺さん宅の場合、測定に当たった我々の感覚では、籾殻炭消臭調湿材の 敷設前からさほど悪臭を感じることもなく、また実際に臭気測定器の数値も低 かったのだが、居住者にはとても気になっているとのことであった。特に、小 野寺さんのお孫さんが敏感な様子で、避難所からの帰宅に不安を抱えていた。 本実証試験期間中にお孫さんが一時帰宅し、悪臭が消えていることを訴えたと いうことだった。(Appendix 2, 3 参照)

#### 3-4-2 腐敗魚類の消臭試験とモニター頒布

前述の通り、この度の震災で気仙沼市は甚大な津波被害を受け、日本有数の 漁港である気仙沼市では大量の水産物が流出し、市内には強烈な悪臭が漂って いる。沿岸部にあった宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場も壊滅的 被害を受け、試験場より流出した大量の魚類が腐敗して悪臭を放ち、周辺住民 から苦情が寄せられていた(写真 3-4-7)。そこで、気仙沼水産試験場より依頼 を受け、腐敗魚類の消臭用に籾殻炭をモニター頒布し、消臭実証試験を行った。



写真 3-4-7 津波により流出し腐敗した魚類

実施場所:宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場

試験期間:平成23年6月7日~6月16日

試験方法: <試験方法の詳細は省略>

備考:被災地における臭害は待ったなしの状況だったので、実証試験に用いる 以外の腐敗魚類(推定約 500kg)は、モニター頒布した籾殻炭(約 200L)を散 布して土に埋めた。(写真 3-4-9)



写真 3-4-8 被災した水産試験場における消臭試験



写真 3-4-9 腐敗魚類への籾殻炭散布

試験結果を図 3-4-4 に示す。比較試験結果より、籾殻炭による良好な消臭効果が認められ、悪臭源の 1wt%程度を散布するだけでも明らかな効果があることが確認された。また、腐敗魚類に籾殻炭を散布して埋めたことにより、周辺地域の消臭に多いに貢献した。

また、震災後、気仙沼市本吉町内の避難所である小泉中学校や南三陸町役場 仮庁舎などを周り、仮設トイレの消臭用に籾殻炭を頒布したが、被災者の疲労 などを考慮して、アンケート調査などは実施しなかった。

尚、本実証試験及び前項の津波被災家屋における消臭効果については、東日本放送(KHB)のニュース番組「スーパーJチャンネル」の特集企画(平成23年8月16日放映)でも取り上げられ、大きな反響を呼んだ(Appendix3参照)。

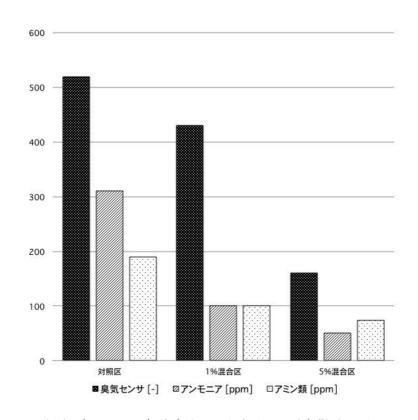


図 3-4-4 籾殻炭による腐敗魚類の消臭効果(炭散布から1週間後)

#### 3-4-3 家畜糞尿の消臭材(堆肥の消臭実証試験とモニター頒布)

炭には優れた消臭効果があることは、既往の研究などからよく知られている。 3-3で示した通り、SUMIX 籾殻炭は活性炭にも比肩し得るガス吸着能力を有することから、より強力な消臭効果を持つことが予想される。このガス吸着力は、一般的には炭化物の比表面積が大きいほど良いとされるが、アンモニアガスのような塩基性ガスに対しては、化学吸着作用により、比較的低い温度で炭化した酸性の炭化物の方が優れていることが確認された。このような性質を利用して、低い温度で炭化した酸性の炭化物と高い温度で炭化した比表面積の大きい炭化物を混合すれば、複合的な臭気に対応できる優れた消臭材となるものと考えられる。

さて、気仙沼市内に有機肥料センターがあり、地域の畜糞を受け入れ処理して有機肥料の製造を行っている。しかし、3-1-2 にも記した通り、発酵時に発生するアンモニアガスが近隣住宅へ吹き下ろし、住人から苦情が発生している。また、本肥料センターに隣接する観光地では、その臭気による観光客の伸び悩みが課題となっている。(震災前)

<有機肥料センターの詳細は省略>

ここでは籾殻炭による有機肥料センターの消臭実証試験を実施し、家畜糞尿 の消臭効果の確認を行った。

実証試験場所:有機肥料センター

実証試験期間:平成23年3月4日~3月10日(震災で中断)

試験方法: <試験方法の詳細は省略>



写真 3-4-11 堆肥原料への籾殻炭混入の様子



写真 3-4-12 堆肥原料への籾殻炭の混入



写真 3-4-13 換気口における臭気測定

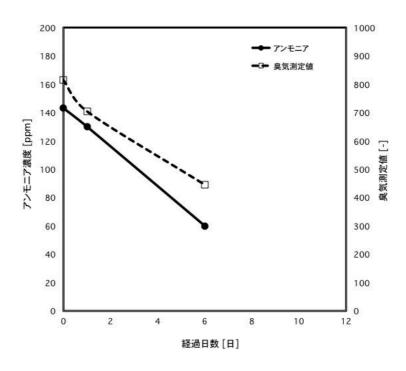


図 3-4-4 本吉有機肥料センターにおける消臭実証試験結果

当センターでは材料投入から発酵完了まで約12日間を要するため、当初は2週間の実証試験期間を見込んでいたが、実証試験開始から7日後に東日本大震災が発生したため以降の実証試験を中止せざるを得なかった。それでも、図3-4-4に示す通り、アンモニア濃度及び臭気測定値ともに籾殻炭投入から経時的に低下することが示され、臭気低減に対する有効性が確認された。

#### 【堆肥消臭比較試験】

前述の籾殻炭のモニター頒布による堆肥消臭実証試験が、震災の影響で当初 予定していた 12 日間の期間を全うすることができなかった。よって、同センタ 一の堆肥材料を用い、ポリバケツを用いた小規模閉鎖系で 12 日間の消臭効果比 較試験を行った。

試験場所:宮城県多賀城市耳取北

試験期間:平成23年6月20日~7月4日

試料:炭化温度秘℃籾殼炭

試験方法: <試験方法の詳細は省略>



写真 3-4-14 堆肥消臭比較試験

試験結果を図3-4-5(臭気測定器)及び図3-4-6(アンモニア)に示す。本比

較試験は、実際の肥料センターにおける連続的な堆肥化プロセスとは異なりバッチで行っており、日々新たな材料の投入がないため、Blank サイトの臭気も時間と伴に低下している。籾殻炭による消臭効果を検証するため、Blank サイトに対する比を図 3-4-7(臭気測定器)及び図 3-4-8(アンモニア)に示す。これらの試験結果から籾殻炭による消臭効果が確認され、炭の散布量が多いほど強い消臭効果が得られるが、1wt%程度の散布でもかなりの消臭効果が期待できることが明らかになった。

以上に記した試験結果は、気仙沼市本吉町内の養鶏業者への籾殻炭モニターアンケート<sup>注)</sup>の結果(Appendix 4)からも裏付けられており、家畜糞尿の消臭効果が確認された。

注) 本アンケートは震災とその後の混乱により回収率が低くなった。

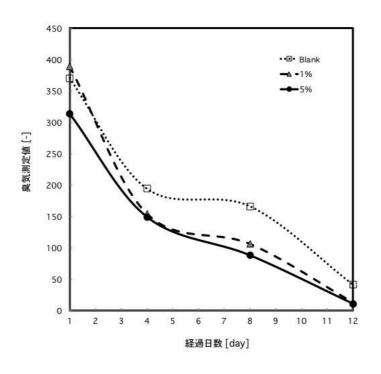


図 3-4-5 臭気測定値の経時変化

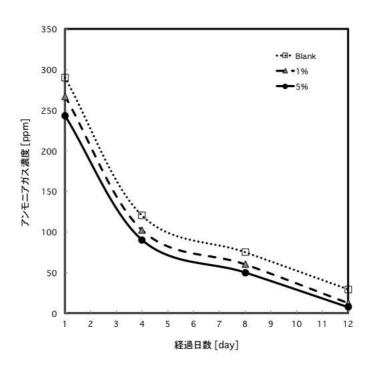


図 3-4-6 アンモニアガス測定値の経時変化

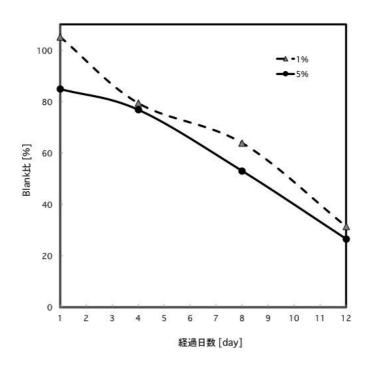


図 3-4-7 臭気測定値の Blank サイトとの比

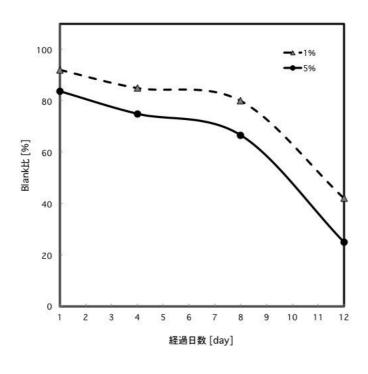


図 3-4-8 アンモニアガス測定値の Blank サイトとの比

## 3-4-4 農業用土壌改良資材

籾殻炭の農業用土壌改良資材(植物活性化材)としての実証試験及びモニター 頒布を実施した。

#### 【水稲苗育苗実証試験】

現在、水稲苗の育苗には滅菌培土が用いられているが、これを籾殻くん炭で置き換えることの有効性が実証されている¹)。しかし、農地での野焼きが法的に規制されている今日では、一般農家が自前でくん炭を作ることは必ずしも容易ではない。また、酸化雰囲気中で蒸し焼きにして製造される一般的な籾殻くん炭は、燃焼により多孔質構造が崩れており、炭素率も低い。一方で SUMIX 籾殻炭は、素材の天然の多孔質構造を維持したまま、くん炭と比較して高い炭素率、多量のシリカ分を含むという特徴がある。この籾殻炭を育苗用の培土に混入して育苗実証試験を実施し、その有効性を検討した。

本育苗実証試験は、当初 JA 南三陸で実施する予定であったが、東日本大震災の津波により JA 南三陸が大きな被害を受けたため、急遽、宮城県加美郡色麻町の農家の協力を得て実施した。

1) 現代農業 2009年4月号

試験場所:宮城県加美郡色麻町の農園

試験期間: 平成23年4月18日~6月8日

試験方法:滅菌培土に炭化温度֎℃の籾殻炭を混合し、その他は当農園における通常の工程で播種及び田植作業を行った。尚、浦山農園は無農薬自然農法で稲作を行っているため、JA等での育苗法と異なり、苗箱をハウスではなく路地で行っている。

品種:ササニシキ

サンプル:体積比で籾殻炭2:培土1、籾殻炭1:培土2の割合で混合した籾殻炭培土を自動播種機で下地作成~種籾播種を行い、表土のみ培土を被せ肥料を散布した(表3-4-3,図3-4-9)。

表 3-4-3 実証試験サンプル一覧

	種類	数 量[箱]	рН
A	籾殻炭2:培土1	120	8.0以上
В	籾殻炭1:培土2	120	7.8
С	培土のみ	943	6. 6
D	田の土 (参考)	47	6. 4

<省略> 図 3-4-9 籾殻炭混入培土による苗箱



写真 3-4-15 籾殻炭混入培土育苗における播種工程



写真 3-4-16 平成 23 年 4 月 19 日の苗床

#### <省略>

写真 3-4-17 播種から 21 日目 (平成 23 年 5 月 10 日) の生育状況

苗箱作成~播種作業については、籾殻炭-培土混合の工程が加わる以外は、自動播種機による通常の工程で特に問題はなかった(写真 3-4-15)。

さて、本年は4月の気温が低く、全体に生育が遅かったが、籾殻炭を混入したサンプルについては明らかに初期生育が早かった。写真 3-4-17 は、播種から21 日目の生育状況である。5 月に入って気温も上昇して苗の生育も加速し、この頃には培土のみのサンプルも目に見えて生育が良くなってきた。写真 3-4-17の下段は各サンプル箱から任意に抜き取った苗の生育状況であるが、特にサンプルAの苗が茎も太く、根張りも良かった。

写真 3-4-18 は播種から 48 日後の苗床の様子である。一般には、水稲育苗には弱酸性土壌が好ましいとされているため、籾殻炭による pH 上昇の影響が懸念されたが、実際には全く問題にならなかった。

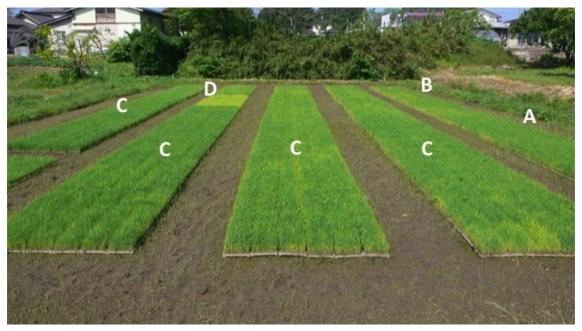


写真 3-4-18 播種から 48 日目 (平成 23 年 6 月 6 日) の苗床



写真 3-4-19 播種から 48 日目 (平成 23 年 6 月 6 日) の生育状況

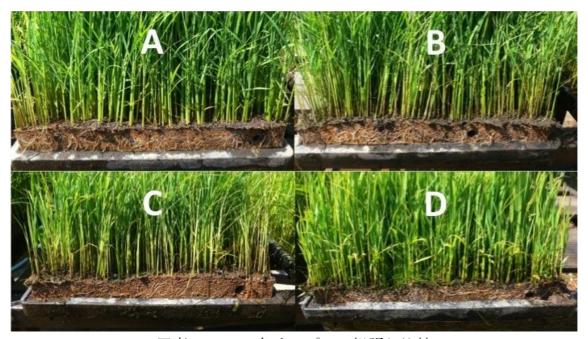


写真 3-4-20 各サンプルの根張り比較

写真 3-4-19 は、各サンプルの生育比較写真である。写真からも判る通り、Aのサンプルが最も生育がよく、根張りも、茎の太さも申し分無かった(写真 3-4-20)。Bのサンプルがこれに続き、Cの培土のみの場合より優れていた。尚、参考のため田の土(サンプル D)で育苗したものは生育が悪く、作付けは行わなかった。

表 3-4-4 に各サンプルの平均重量を示す。

表 3-4-4 播種から 48 日目の各サンプルの重量 <省略>

苗箱の重量については、Aのサンプルは苗の生育が良好であるにも関わらず苗箱は平均 5.1kg と軽量であった。一般に田植作業においては、苗箱の搬送作業が大きなウェイトを占めているが、苗箱の軽量化は作業負担の軽減に直結するものと考えられる。全国的に農業従事者の高齢化が進んでいるが、このような作業負担の軽減は歓迎されるだろう。

播種から 48 日後に田植作業を行った。田植作業も通常通り、トラクターで苗出し~手作業で水田側に搬出~田植機で田植の工程で行った(写真 3-4-21)。田植では、特に田植機の調整等は行わなかったが、大きな問題は生じなかった。但し、籾殻炭の混合割合が多くなるに従って若干下地が柔らかくなり、苗の田植機への仕込みの際にもたつくこともあったが、これは慣れで直ぐに対応できた。また、籾殻炭の混合比率の高い A のサンプルは感覚的にも明らかに軽く、女性でも片手で持ち運ぶことができ、とても作業が楽であった。田植後の水田の土壌 pH も 6.6 程度と問題なかった。

以上より、籾殻炭の水稲用育苗培土への利用は、苗の生育に全く問題がないどころか、生育及び作業効率の両面から大きなメリットが期待できることが実証された。尚、本実証試験は稲作農家へのモニター頒布として行ったものであり、籾殻炭の水稲苗育苗における影響の詳細については、専門機関による研究が望まれる。

また、水稲育苗の他、とうもろこし苗、キュウリ、春菊等に対するモニターアンケート<sup>注)</sup>(Appendix 4)から、様々な作物に対する優れた植物活性効果が認められ、土壌改良資材としての有効性が確認された。

注) 本アンケートは震災とその後の混乱により回収率が低くなった。

## 3-4-5 鮮度保持材

#### 【冷蔵庫の消臭&鮮度保持材】

エチレンガス吸着シートに替わって、下記のような冷蔵庫の消臭&鮮度保持 材試作品を製造した。本品は室内や下駄箱等の消臭用にも活用され、前述の籾 殻炭消臭調湿材と同様、被災地における消臭に多いに役立っている。

内容: 市販のプラスティック容器に炭化温度®℃の籾殻炭を約 100mL 封入し、 試作品とした。(写真 3-4-22)



写真 3-4-22 消臭&鮮度保持材試作品

### 3-4-6 その他試作品

#### 【籾殼炭枕】

内容: 460×230mm の不織布に、炭化温度®℃の籾殻炭及び枕用資材を二重に封入し試作品とした。(写真 3-4-23)

<省略> 写真 3-4-23 籾殼炭枕試作品

## 【籾殼炭石鹸】

概要:炭化温度铋℃の籾殻炭粉、加熱した石鹸ベース材料に適量添加し、型に入れ冷却して試作品とした。(写真 3-4-24)



写真 3-4-24 籾殼炭石鹸試作品

## 【籾殻炭の食品利用の検討】

還元滅菌炭化加工機「SUMIX」によって炭化温度極℃以上で製造された籾殻炭は、完全に滅菌されており、発がん性物質であるベンツピレンも検出されないことから、食用にすることも可能である。近年、竹炭等の炭入りのパンや菓子が市販されているが、これら一般的な炭に対して、籾殻炭はケイ素を豊富に含むという特徴がある。

最近の研究から、ケイ素は骨、関節、血管、皮膚、毛髪、歯、爪等に多く含まれ、生命維持に不可欠な必須微量元素であり、年齢を経るに従ってケイ素摂取力が衰えてくること等が判ってきている<sup>1)</sup>。ケイ素は、玄米やワカメ、リンゴ等に微量に含まれてはいるが、これらの食品から充分な量を摂取することが難しいため、ケイ素サプリメント等も注目され始めている。

ここでは籾殻炭の特徴を活かし、効果的にケイ素を補うことができる健康志向の食品への応用を図るため、主食であるパンへの添加について検討を行った。 1) Jugdaohsing, R., et al., J. Bone Miner Res., 2004, Feb; 19[2], 297-307

#### <途中省略>

表 3-4-5 材料配合一覧(単位:[g]) <省略>



写真 3-4-25 炭添加品発酵前生地



写真 3-4-26 pH 調整品 (左) と pH 未調整品 (右) の焼き上がり比較



写真 3-4-27 炭未添加品 (左) と炭添加品 (右) の断面比較

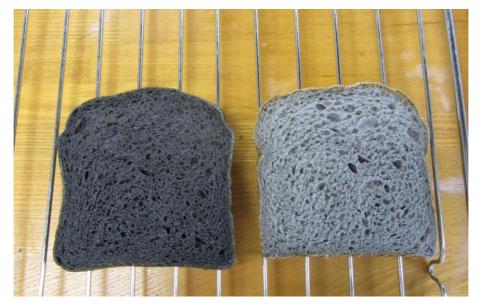


写真 3-4-28 炭铋%添加品(左)と炭铋%添加品(右)の断面比較

次に、籾殻炭添加米粉麺の試作を行った。

## <途中省略>

外見、作業性等は問題なかったが、ゆでた後、若干のぬるつきが感じられ、 製品に至るまでには改良の必要があると思われる。しかし、これは基本配合の 若干の調整で対応可能だろう。麺はゆでる前後で色が大きく異なり、グレイだ った生地がゆでた後は真っ黒になった。(写真 3-4-29, -30)

本品はイカ墨パスタ等と違って食べても口の中が黒くなるということがなく、 また、後段に示すような籾殻炭独自の特徴もあるため、面白い製品になる可能 性があると感じた。



写真 3-4-29 ゆでる前の籾殻炭米粉麺



写真 3-4-30 ゆでた後の籾殻炭米粉麺

# 第4章 市場調査

本事業における市場調査を「籾殻炭による製品化と環境保全型新産業創出のための市場調査」として、株式会社マック・アールビーシーへ委託した。市場調査結果の詳細についてはAppendix 5に示し、ここでは調査の概略を述べる。

## 4-1 調査概要

本市場調査では、籾殻炭のポテンシャルユーザーセグメントを対象に、その市場ニーズ、市場性、将来に対する購入モチベーションの情報収集と分析を実施した。下記の籾殻炭のポテンシャル需要市場における業界関係者(稲作農業従事者、関連メーカー、ユーザー分野、関連施設運営者、関連用品購買責任者、流通業者、住宅メーカー、建築設計事務所等)に対して、株式会社マック・アールビーシーの専門フィールドリサーチャーによる直接面談並びにヒアリング方式による調査を行った。(本調査における面談者数は約40~50ケース)

- ① 籾殻産出市場の概要(3-1に記述)
- ② 床下・天井調湿材としての市場
- ③ 果物・野菜の鮮度保持材としての市場
- ④ ホームセンターへの家庭菜園向け籾殻炭の卸売り市場
- ⑤ 養鶏場/養豚場における糞尿消臭材としての市場
- ⑥ 農業者用土壌活性化素材(土壌改良資材)としての市場
- (7) シックハウス対策建材素材としての市場
- ⑧ 水稲の床土の消毒・活性材としての市場

## 4-2 調査結果要約

<調査結果は省略>

# 第5章 事業化の可能性

## 5-1 籾殻収集コスト

<省略>

## 5-2 籾殻炭製造原価

<省略>

## 5-3 事業収支

<省略>

## 5-4 事業化のメリット

籾殻炭の販売の事業化によって、生み出されるメリットを列挙する。

## 5-4-1 資源の有効利用と環境改善

今まで捨てられていた籾殻を消臭材等にも利用できる高品質籾殻炭に加工することによりバイオマス資源が有効に活用され、臭気除去・除湿効果など、周辺の居住環境も改善される。

#### 5-4-2 雇用の創出

ーヶ所の炭化プラントで、直接的には事務職2名、現場3名(3交代)の計5人の雇用が必要で、販売の現場での雇用の促進も期待できる。プラントの数が増えればそれに伴って雇用数も増えていく。

#### 5-4-3 材料供給者の利益

籾殻材料を収集する際に農家等から購入することが可能になる。それは農家 にとっては貴重な現金副収入となる。また、籾殻炭を稲作農家へ水稲用育苗培 土として還元する場合には、以下のようなメリットをもたらすことができる。

- 処分に苦慮していた籾殻の有効活用
- 滅菌培土の使用量を減らす
- 水田への効率的なシリカ分の還元
- 田植作業負担の軽減
- 良質な苗を得る

### 5-4-4 温暖化防止

12型炭化加工機の場合、年間炭製造量は、

110.88 $m^3$ /mon. × 12 ヶ月 ≒ 1,330 $m^3$  = 93t

となる。籾殻炭に含まれる炭素量を 50% と仮定すると、炭素 1t を焼却する時、約 3.7t の  $CO_2$  が排出されるので、

 $93t \times 50\% \times 3.7 = 172t$ 

の排出が抑制されることになる。これは元々自然界にあった炭素であるから、 カーボンマイナスとなる。

## 第6章 外部有識者検討会

本プロジェクト事業に関する外部有識者検討会を下記の通り開催した。

日時:平成23年6月10日(金) 10:00~12:00

• 場所:宮城県産業技術総合センター 小会議室

#### 出席者:

#### 【外部有識者】

- 宮城県産業技術総合センター 所長 鈴木 康夫 (工学博士)
- 宮城県立宮城大学食産業学部 教授 北辻 政文(農学博士)
- 東北大学大学院環境科学研究科 教授 谷口 尚司(工学博士)

### 【プロジェクトメンバー】

- 気仙沼市役所本吉総合支所 産業課主幹 遠藤 秀和
- 株式会社マック・アールビーシー 代表取締役 藤城 孝雄
- 株式会社ガイア環境技術研究所 代表取締役 田口 信和
- 株式会社ガイア環境技術研究所 研究開発本部長 梅木 千真
- 株式会社ガイア環境技術研究所 主任研究員 今間 典子

### 内容:

### 【事業説明】

以下の内容でプロジェクトメンバーより事業説明を行った。尚、当日の説明 資料はAppendix 6に添付する。

- ① 背景、目的、実施体制、実施項目(田口)
- ② 還元滅菌炭化加工機「SUMIX」と高品質炭(梅木)
- ③ 市場調査(藤城)
- ④ 実証試験、試供品、モニター頒布(梅木)
- ⑤ 東日本大震災における復興支援活用(梅木)
- ⑥ 気仙沼市役所による現状説明(遠藤)
- ⑦ 事業化

# 【討議】

# <討議内容は省略>



写真 5-1 外部有識者検討会(平成 23 年 6 月 10 日)

## 第7章 総括

第3章3-1に示した現状調査から、宮城県北部地域においては毎年充分な量の籾殻が産出しており、その約70%に当たる1,000tほどが籾殻炭の原材料に充当し得ることが判明した。また、周辺地域を含めると70,000t以上の籾殻が産出しているものと推定され、原材料の供給ポテンシャルには問題がないことが確かめられた。但し、調査地域は小規模農家や山間地域が多く、現行の籾殻回収方法は個別農家からトラックに直に積み込む方法が主流と見られるため、回収労力及びコストが嵩んでいることも判った。

3-3 に示した籾殻炭の分析から、還元滅菌炭化加工機「SUMIX」で製造した「SUMIX 籾殻炭」は、実験室で製造した籾殻炭と比較してもそれに匹敵、あるいは凌駕する諸性能を有していることが確認された。更に、SUMIX 籾殻炭に関する各種ガス吸着性能試験より、場合によっては活性炭等を凌ぐガス吸着量力を持っていることが判明し、消臭材や鮮度保持剤等の機能性材料として活用できることが確かめられた。また、SUMIX 籾殻炭及び籾殻炭化時の排ガスの化学分析からその安全性が確認され、籾殻炭はケイ素分に富んでいること、4,300kcal/kgもの発熱量を有していることも明らかになった。

3-4 に示した実証試験及び試作品から、SUMIX 籾殻炭の特徴を活かした試作品等の諸性能が実証された。これらは単なる試験として行われたに留まらず、事業期間中に発生した東日本大震災の復興支援策としても活用され、津波被災地域の消臭等に寄与することができた。また、水稲用育苗培土としての実証試験から、恐らくは籾殻炭利用の最大部分を占めるであろう農業利用に関してそのポテンシャルの一端が実証され、本事業の大きな目的である農村地域における新産業創出が現実味を帯びてきた。

第4章に示した市場調査から、「水稲用育苗培土」「鮮度保持剤」「農業用土壌 改良資材」「消臭材」等の市場性が評価され、今後の事業化の方向性が見えてき た。また、例えば土壌改良資材であれば、くん炭との違いをユーザーに明示す る必要性等の課題も明らかになった。

第5章に示した事業化の可能性から、製造コストを下げるために、例えば炭化機の運転体制や原材料の収集等に工夫が必要であることが判ったが、炭化機の基本性能、材料供給能力、籾殻炭の諸性能の面では十分なポテンシャルを有

していることが確認され、適切な運用とマーケティングを行えば、事業化は可能であると考える。これは材料供給者である稲作農家や地域経済にも貢献し、また、地球温暖化防止対策としても有効であることが再確認された。

材料供給者である稲作農家は育苗培土としての籾殻炭のユーザーでもあることから、課題となっている原材料の収集については地域通貨等を媒介としたバーター方式を検討することも一案である。例えば、稲作農家に籾殻を炭化プラントまで自己搬入させる替わりに、一定量の籾殻炭引換券としての地域通貨を発行し、春先の育苗時には籾殻炭と交換できるようにするのである。このようなシステムを構築すれば、炭化プラント事業主は実質的な経済負担なく効率的に原材料を集めることができるし、稲作農家は高品質の籾殻炭を無料で得ることができる。

第6章に示した外部有識者検討会から、籾殻炭の有効性等についての裏付けが得られ、また、いくつかの解決すべき課題も浮き彫りになった。更には、汎用水田の暗渠利用等、新たな利用法についても有益な提案を得た。

以上、本事業の成果から、籾殻の還元滅菌炭化加工による各種高付加価値製品のポテンシャルが実証され、コスト、安全性、環境保全の全ての観点からその有効性が確認された。原材料の回収方法等の課題はあるが、これらの解決を図ることで、新たな産業を創出し得るものと結論する。

尚、周知の通り、本事業期間中に東日本大震災という未曾有の大災害が発生し、事業関係者の生死すら不明という異例の状態が続いた。報告書の冒頭にも述べた通り、本事業でモデルケースとした宮城県北部沿岸地域は大津波により壊滅的な被害を受けたが、比較的山間部にあった炭化プラントは難を逃れ、本事業の完遂と被災地支援を行うべく籾殻炭の製造を行ってきた。その結果、津波被災地域や避難所の消臭等に貢献することができ、その成果の一部はマスコミにも取り上げられた(Appendix 2, 3)。今後も、浸水した農地の土壌改良や汚染された河川や海洋の浄化等、新たな炭の利用が期待されている。本事業成果を足がかりに、被災地域の復興の一助として炭化事業を推進していくものである。

日本人の「ふるさと」の原風景は、山と川、そして水田である。日本は太古の昔から豊葦原の瑞穂の国ともいわれるように稲作を中心に栄え、稲作文化が日本人の精神の根幹を形作ってきた。情感豊かな美意識、あらゆる生命に対する慎み深い敬い、ひたむきな探究心といった世界に誇れる日本人の美徳に、稲

作文化が多大な影響を与えてきた。その「ふるさと」がいま壊れかかっている。 経済的な理由や後継者の不足から、耕作を放棄せざるを得ない農地が年を追う ごとに増加している。SUMIX籾殻炭の用途が広がることで、日本の「ふるさと」 再生の一助となることを切に願う。