

# 研 究 報 告

令和 8 年 4 月 11 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 東京科学大学 環境・社会理工学院

氏 名 : 能作文徳

研究課題名 : 里山資源を活用したバイオベース断熱材に関する基礎的研究

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 3 1 日

## 里山資源を活用したバイオベース断熱材に関する基礎的研究

Fundamental research on biobased insulation materials utilizing satoyama resources.

東京科学大学 環境・社会理工学院 建築学系・准教授 能作文徳

東京都立大学 都市環境科学研究科 建築学域 杉谷望来

### （研究計画ないし研究手法の概略）

#### 1-1. 研究の背景と目的

二酸化炭素排出量削減を目標として、建築分野ではエネルギー消費を抑制するため、高气密・高断熱住宅の開発が進められてきた。しかし、現在広く用いられている高性能断熱材の多くは石油由来の製品であり、建物の運用段階において省エネルギー効果が期待できる一方で、製造過程における二酸化炭素排出、加工時に発生するプラスチックの飛散、添加物による生物濃縮といった環境負荷の問題を抱えている。生産から廃棄に至るまでのライフサイクル全体を考慮すると、環境汚染への配慮という観点から、再生可能資源を用いた植物性断熱材の活用が求められる。植物性断熱材の多くは、食糧（米）、衣料（麻）、木材の生産過程で生じる副産物を原料としており、地域資源の有効活用という点でも意義がある。なかでも日本の農村地域では、大量に発生した稲作の副産物である稲藁や籾殻を断熱材として利用する試みが近年注目されている。そこで本研究では、千葉県鴨川市北釜沼集落に立地する木造伝統構法住宅を対象に、農村集落から収集可能な農業副産物である稲藁および籾殻を主原料とした断熱材を製作する。あわせて、稲藁および籾殻による試験体を作成し、その熱性能を測定する。さらに、屋根・壁・床への施工を通じて施工性を検証し、木造住宅の構法へと活用するための知見を提示することで、木造伝統構法住宅における稲藁および籾殻を用いた断熱手法の一端を明らかにすることを目的とする。

#### 1-2. 既往研究及び本研究の意義

これまでの稲藁・籾殻による断熱材についての研究では水沼らの「もみ殻を充填した二重落とし込み木板パネルの断熱性能実験」で乾燥籾殻と籾殻燐炭の熱伝導率、「稲藁ともみ殻と主原料とするリサイクル断熱材の開発と基本性能評価」で籾殻と消石灰水を混合した断熱材の熱伝導率が検証されている。しかし、これらの研究に対し、本研究では植物性断熱材の製造手法や施工性に着目する点が異なり、性能について改めて検証することにも意義がある。以上より、本研究は性能と施工性の両方に着目する点に独自性がある。

### （実験調査によって得られた新しい知見）

#### 2. 断熱性能の評価

##### 2-1. 建築部位ごとの断熱方法と性能

建築部位ごとの稲藁・籾殻の断熱方法の比較するため、建築部位、植物、方法、施工に要する時間、人数、施工時の詳細を整理した。屋根では稲藁の状態を変えて、1. 麻袋に詰めたもの、2. 3. 4. ブロック化し麻紐で結んだもの、5. 脱穀時にコンバインで束ねられた状態のま

ま敷き詰めたもの、6. 粃殻を燻炭化し袋詰めしたものの6種類で比較し、3. 束の状態で裁断し直交配列してブロック化する方法を選定した。300×150×50mmのブロック1つの製作につき1人で30分を要する。断熱材の角を作ることができ断熱同士に隙間が生まれにくい特徴がある。壁では粃殻を7. 燻炭化して流し込むもの、8. 消石灰水と混合して打設するもの、9. 型枠でブロック化して施工するものの3種類で比較し、8. と9. を選定した。約2㎡の壁につき1人で3時間を要する。壁に打設する場合、伝統構法住宅の木組の凹凸に対応しやすい。型枠でブロックを作成した場合、高所への施工が容易だが、ブロックの乾燥に1～2週間を要する。床では粃殻を10. 燻炭化して流し込んだものと11. 消石灰と水を混合して流し込んだものの2種類で比較し、10. を選定した。粃殻燻炭の製作を含め約2㎡の床につき1人で約3時間半を要する。床に流し込むため燻炭の粉塵の飛散が少なく、施工が容易である。

2-2. 断熱性能試験と熱貫流率

各断熱材の熱伝導率を計測するために、埼玉県建材試験センター中央試験所にて熱流計法を行った(表1) 注1)。熱流計法とは熱流計を用いて熱流を直接測定し、その熱流と試料の温度差・厚さから熱伝導率を測定する試験である。試験体は各断熱材につき3体ずつを実際の施工法により製作し、熱伝導率の平均値を求めた。

木造伝統構法住宅の概要と試験の結果について、住宅の断面図、屋根・壁・床の詳細図、部材の厚みと熱抵抗値、試験体の詳細と熱伝導率、試験から得られた結果から算出した熱貫流率を整理した(表2)。各試験体の熱伝導率の平均値は稲藁ブロックが0.0462W/m・K、粃殻消石灰が0.0856W/m・K、粃殻燻炭が0.0431W/m・Kであり、稲藁ブロックと粃殻燻炭は0.065W/m・K以下を満たす高性能な断熱材であったが、粃殻消石灰は断熱性能が基準を下回っていた。材料ごとの特徴として、粃殻燻炭の試験では、密度が小さいほど熱伝導率の数値が小さい結果となった。粃殻消石灰の試験では、木摺板に接する部分と空気に触れている部分の乾燥状態が不均一になり、その境界で崩壊が起きた。さらに、試験体が水分を含んだ状態で50℃の乾燥機に16時間ほど入れると端部の崩壊があったため、気乾状態での保存が必要である。試験により得られた結果に基づき、簡易法を用いたプログラム注2)により住宅の熱貫流率を算出すると、屋根が0.276W/㎡・K、壁が0.708W/㎡・K、床が0.260W/㎡・K、建物全体0.56W/㎡・Kであった。建築物省エネ法に基づいた基準値と比較すると、本住宅が立地する千葉県が含まれる5・6地域の0.87W/㎡・K以下であり、省エネ基準を満たしている。

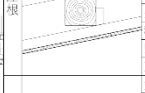
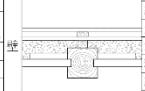
|                                                                  |                           |                                                                                     |           |                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                     |                                                                                               |                                                                                                                                               |                   |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------|----------|-------------------------|-----------|----------|---------------|--------------------------|------|----|--|------|--|-----|--|------|--|------|--|
| 試験                                                               | JIS A 1412-1 熱流計法 (HFM 法) |                                                                                     | 断面図 1:200 |                                                                                                             | 位                                                                                   | 詳細図 1:200                                                                           | 部材                                                                                  | 厚み<br>mm                                                            | 熱抵抗値<br>m <sup>2</sup> ・K/W                                                                   | 試験体                                                                                                                                           | No.               | 質量<br>g | 厚み<br>mm | 密度<br>kg/m <sup>3</sup> | 平均湿度<br>℃ | 湿度差<br>K | 熱伝導率<br>W/m・K | 熱流密度<br>W/m <sup>2</sup> |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
|                                                                  |                           |                                                                                     |           |                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                     |                                                                                               |                                                                                                                                               |                   |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱流センサー(熱流計)を用いて、材料の表面を流れる熱の量(熱流)を直接測定し、その熱流と試料の温度差・厚さから熱伝導率を測定する |                           |  |           |                          |  |  |  | 野地板<br>通気垂木<br>透湿防水シート<br>稲藁ブロック断熱<br>野縁<br>天井板<br>金属屋根板<br>透湿防水シート | 16<br>30<br>-<br>180<br>45<br>15<br>15<br>18<br>15<br>51<br>24<br>30<br>18<br>30<br>40<br>180 | -<br>-<br>-<br>0.3448<br>0.6896<br>3.8989<br>0.3448<br>0.3448<br>-<br>-<br>0.9375<br>0.2758<br>0.3448<br>0.1724<br>0.4597<br>0.3448<br>4.1795 | 稲藁ブロック<br>t 47~51 | 1       | 240.09   | 55.1                    | -         | 22.9     | 18.0          | 0.0450                   | 14.7 |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約24℃                                                                                |           |                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                     |                                                                                               |                                                                                                                                               |                   | 2       | 247.84   | 47.1                    | -         | 23.2     | 20.0          | 0.0478                   | 20.3 |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約23℃                                                                                |           | 3                                                                                                           | 264.19                                                                              | 51.0                                                                                | -                                                                                   | 23.1                                                                | 20.1                                                                                          | 0.0457                                                                                                                                        | 18.0              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 備考: (1) 稲藁消石灰、粃殻燻炭についても同様。<br>(2) 図中に無表示の場合、その部分については写真・形状を維持できない場合、形状・透湿防水シート・777を使用                       |                                                                                     | 作成日:2025年12月10日<br>搬入日:2025年12月10日<br>試験日:2025年12月12日~2025年12月24日                   |                                                                                     |                                                                     |                                                                                               |                                                                                                                                               |                   |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 1                                                                                                           | 593.13                                                                              | 46.5                                                                                | -                                                                                   | 23.6                                                                | 18.9                                                                                          | 0.0915                                                                                                                                        | 37.2              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 2                                                                                                           | 522.32                                                                              | 44.8                                                                                | -                                                                                   | 23.3                                                                | 19.2                                                                                          | 0.0838                                                                                                                                        | 35.9              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 3                                                                                                           | 547.86                                                                              | 47.1                                                                                | -                                                                                   | 23.5                                                                | 19.2                                                                                          | 0.0814                                                                                                                                        | 33.2              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 作成日:2025年11月16日<br>搬入日:2025年11月20日(搬入後、乾燥)<br>経過日:2025年11月28日(乾燥機50℃16時間て端部崩壊)<br>試験日:2025年12月24日~2026年1月7日 |                                                                                     | 1                                                                                   |                                                                                     | 393.73                                                              | 50.6                                                                                          | 125                                                                                                                                           | 23.1              | 20.1    | 0.0430   | 17.1                    |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 2                                                                                                           | 389.75                                                                              | 50.7                                                                                | 123                                                                                 | 22.8                                                                | 20.0                                                                                          | 0.0426                                                                                                                                        | 16.8              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 3                                                                                                           | 399.26                                                                              | 50.7                                                                                | 126                                                                                 | 22.9                                                                | 20.1                                                                                          | 0.0436                                                                                                                                        | 17.3              |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 作成日:2025年11月上旬<br>搬入日:2025年11月20日<br>試験日:2025年11月20日~2025年11月28日                                            |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                     |                                                                                               |                                                                                                                                               |                   |         |          |                         |           |          |               |                          |      |    |  |      |  |     |  |      |  |      |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 場所 埼玉県建材試験センター 中央試験所                                                                                        |                                                                                     | 図                                                                                   |                                                                                     | 位                                                                   |                                                                                               | 部材                                                                                                                                            |                   | 試験体     |          | No.                     |           | 質量       |               | 厚み                       |      | 密度 |  | 平均湿度 |  | 湿度差 |  | 熱伝導率 |  | 熱流密度 |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 日程 2025年11月20日~2026年1月7日                                                                                    |                                                                                     | 図                                                                                   |                                                                                     | 位                                                                   |                                                                                               | 部材                                                                                                                                            |                   | 試験体     |          | No.                     |           | 質量       |               | 厚み                       |      | 密度 |  | 平均湿度 |  | 湿度差 |  | 熱伝導率 |  | 熱流密度 |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 試験法 300×300mm t=30~50mm                                                                                     |                                                                                     | 図                                                                                   |                                                                                     | 位                                                                   |                                                                                               | 部材                                                                                                                                            |                   | 試験体     |          | No.                     |           | 質量       |               | 厚み                       |      | 密度 |  | 平均湿度 |  | 湿度差 |  | 熱伝導率 |  | 熱流密度 |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 試験体 粃殻燻炭, 粃殻消石灰, 稲藁ブロック                                                                                     |                                                                                     | 図                                                                                   |                                                                                     | 位                                                                   |                                                                                               | 部材                                                                                                                                            |                   | 試験体     |          | No.                     |           | 質量       |               | 厚み                       |      | 密度 |  | 平均湿度 |  | 湿度差 |  | 熱伝導率 |  | 熱流密度 |  |
| 熱電対                                                              |                           | 約13℃                                                                                |           | 数量 9体(各断熱材につき3体)                                                                                            |                                                                                     | 図                                                                                   |                                                                                     | 位                                                                   |                                                                                               | 部材                                                                                                                                            |                   | 試験体     |          | No.                     |           | 質量       |               | 厚み                       |      | 密度 |  | 平均湿度 |  | 湿度差 |  | 熱伝導率 |  | 熱流密度 |  |

表1 試験概要

表2 住宅概要と試験結果

3. 施工法の評価

3-1. 稲藁ブロックによる屋根断熱

稲藁の材料調達について整理した（表 3）。稲藁は 5 月の田植え、9 月の稲刈り、稲架掛け、脱穀を経て調達可能となる。次に、屋根に使用する稲藁ブロックの製作および施工工程を整理した（表 4）。稲藁を圧縮しブロック化する道具であるベラーは住宅施工時の端材を活用して自作した。下準備として、1. 野縁を 300mm 間隔で母屋下に取り付ける。この際、3 本に 1 本は取り付けず、稲藁ブロックを挿入する空間を確保する（2 日/2 人）。2. 押切を使用して稲藁を裁断する（50 分/1 人）。3. ベラーに PP バンドを設置し、稲藁の端部を揃えて長手方向と短手方向が交互になるよう積む（30 分/1 人）。4. ベラーのレバーを下げて圧縮し（5 分/1 人）、5. PP バンドで結束してブロックを取り出す（5 分/1 人）。6. ブロックを野縁上に挿入し、取り外していた野縁を取り付ける（5 分/1 人）。

| 工程 | 1. 田植え                                                                            | 2. 稲の収穫                                                                           | 3. 稲架掛け                                                                           | 4. 脱穀                                                                             | 5. 稲藁束ねる                                                                            | 6. 籾殻の袋詰め                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 図  |  |  |  |  |  |  |
|    | （疎植栽培）畝間を 30cm、株間を 24~28cm を目安に植える                                                | 稲の根元から 4.5cm 上に平行にカを入れる                                                           | 稲が生えている列に沿ってバインダーを進める                                                             | 竹で作った稲荷に稲を掛け乾燥させる（約 1~2 週間乾燥）                                                     | 稲藁を回収し、一部藁刈と稲藁は野焼きして土に戻す。籾殻をライスセンターで保管する                                            | ライスセンターもしくは田に隣接する倉庫で保管されている籾殻を籾殻袋に詰める                                               |
| 時  | 3 時間                                                                              | 4 時間                                                                              | 3 時間                                                                              | 3 時間                                                                              | 3 時間                                                                                | 30 分                                                                                |
| 人  | -                                                                                 | 20 人                                                                              | 4 人                                                                               | 4 人                                                                               | 5 人                                                                                 | 2 人                                                                                 |

表 3 材料調達 稲藁・籾殻  
（表 3, 4, 5, 6 の凡例 太線：材料, []: 道具, 細線：部材・補足説明）

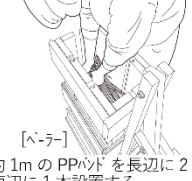
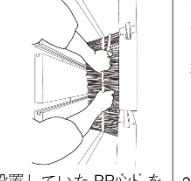
| 工程 | 1. 野縁取り付け                                                                           | 2. 稲藁裁断                                                                             | 3. PP バンド設置・稲藁配列                                                                    | 4. 押し込み                                                                             | 5. 結束・ブロック取り出し                                                                        | 6. ブロック挿入・ビス留め直し                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 図  |  |  |  |  |  |  |
|    | 野縁を 300mm のピッチで母屋の下に取り付ける。3 本に 1 本は取り付けない                                           | 稲藁をベラーの内寸から 10mm の長さに裁断する                                                           | 約 1m の PP バンドを長辺に 2 本、短辺に 1 本設置する。その後、端を揃えて並べる。長辺は 4 束分、短辺は 6 束分                    | ベラー内の線に達するまで稲藁を入れ、少しずつ規格のサイズになるように押し込みながら調整する                                       | 設置していた PP バンドをブロックの上部で引っ張り固定し、ベラーから取り出す                                               | 2 本の野縁にかかるように、隙間からブロックを挿入する。ビスを留め直し、隙間を無くす                                            |
| 時  | 2 日                                                                                 | 50 分                                                                                | 30 分                                                                                | 5 分                                                                                 | 5 分                                                                                   | 5 分                                                                                   |
| 人  | 2 人                                                                                 | 1 人                                                                                 | 1 人                                                                                 | 1 人                                                                                 | 1 人                                                                                   | 1 人                                                                                   |

表 4 稲藁ブロックによる屋根断熱

3-2. 籾殻消石灰による壁断熱

籾殻の材料調達について整理した（表 3）。脱穀時に発生する籾殻はライスセンターや田に隣接する倉庫に保管されている。次に、壁に使用する籾殻消石灰の製作および施工工程、ブロックの施工工程を整理した（表 5）。下準備として 1. 木摺板を切断、施工時に発生した端材を幅割きして厚さ 10mm のスペーサーを製作する（2 日/2 人）。2. 木摺板の間にスペーサーを挟み四隅をビス止めする（1 時間/1 人）。板間の隙間により材料が外気に触れ乾燥しやすくなる。3. 体積比が籾殻：消石灰：水＝5：1：1 となるよう計量し、4. モルタルミキサーで攪拌する（5 分/2 人）。5. 木摺板の上端まで材料を流し込み、端材を当てて玄能等で打設する（6 分/1 人）。桁上での施工が困難な箇所では籾殻消石灰ブロックを施工する。6. 型枠を設置した合板上に麻布を敷き、材料を流し込んだ後、板を上に乗せて体重で圧縮する（3 分/1 人）。型枠から外し、風通しの良い場所で 1~2 週間乾燥させる。7. 乾燥後、

差し矩とノコギリで寸法を調整し（15分/1人）、8. 壁に設置する（1時間/1人）。乾燥前の  
 粃殻消石灰で隙間を補修する。

| 工程 | 1. 木摺板・スパー製作                                                                                                                                             | 2. 木摺板設置                                                                                                                         | 3. 材料計量・攪拌                                                                                                                             | 4. 混合・移し替え                                                                                                                                                                 | 5. 流入・打設                                                                                                               | 6. 打設                                                                                                                 | 7. サイズ調整                                                                                                                                    | 8. 取り付け                                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 図  | <br>【丸ノコ】<br>【丸ノコ定規】<br>【クマ】<br>実測して木摺板を製作<br>端材を10mmに幅割き<br>してスパーを製作する | <br>【インパクトドライバー】<br>木摺板の間にスパーをはめ、木摺板の角4か所にビスを打つ | <br>【バケツ】<br>消石灰水<br>モルタルに初殻を投入し、水を入れたバケツに消石灰を加えて攪拌する | <br>【移植ゴテ】<br>【モルタルキラー】<br>【ワネ】<br>モルタルの側面の初殻を取り除きながら混合する<br>移し替えの際にはモルタルキラーを稼働させた状態で掻き出す | <br>【移植ゴテ】<br>【フリドリ】<br>木摺板の上端まで流し込む | <br>木板を被せ上に押し圧縮、側面の型を取り外し木板上で乾燥させる | <br>【ノコギリ】<br>【差し矩】<br>約1〜2週間の乾燥の後、差し矩をあてがいノコギリで大きさを調整する | <br>手で微調整し設置隙間を初殻消石灰で補修する |
| 時  | 2日                                                                                                                                                       | 1時間                                                                                                                              | 5分(7分)                                                                                                                                 | 6分                                                                                                                                                                         | 3分                                                                                                                     | 15分                                                                                                                   | 1時間                                                                                                                                         |                                                                                                              |
| 人  | 2人                                                                                                                                                       | 1人                                                                                                                               | 2人(1人)                                                                                                                                 | 1人                                                                                                                                                                         | 1人                                                                                                                     | 1人                                                                                                                    | 1人                                                                                                                                          |                                                                                                              |

表 5 粃殻消石灰による壁断熱

### 3-3. 粃殻燐炭による床断熱

床に使用する粃殻燐炭の製作および施工工程を整理した（表 6）。下準備として、1. タッカーを使用して足固め上木の下面に透湿防水シートとバラ板を取り付ける（2日/4人）。2. 端材を燃料とし、着火後に燐炭機を被せる（5分/1人）。3. 袋から直接、もしくはテミを使用して燐炭機を粃殻で覆う。粃殻袋2〜3袋、テミ約20杯を目安とする（5分/1人）。4. 燐炭機と粃殻の接する部分が燐炭化したら地面にある粃殻をかけ、黒い斑点が出たら全体を混ぜる（5分/1人）。5. 約8割が燐炭化した後に燐炭機を外す。粃殻燐炭を台形状に盛り、約20分ごとに混ぜる（5分/1人）。6. 粃殻燐炭をドラム缶等に移し、密閉して冷却した後、粃殻袋に移し替える（30分/2人）。7. 粃殻袋ごと持ち上げて、床に流し込み、手でならす（1日/2人）。

| 工程 | 1. 透湿防水シート取付け                | 2. 着火                                                        | 3. 粃殻を投入する                                                | 4. かき混ぜる                                                | 5. 燐炭機取り外し・台形に盛り                           | 6. 缶に移し替える                  | 7. 流込・荒床設置               |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 図  |                              |                                                              |                                                           |                                                         |                                            |                             |                          |
|    | 足固め上木の下面に透湿防水シート・バラ板の順に取り付ける | 【ガスバーナー】<br>端材を幅約30mmと着火用幅約10mmに割り、約10本を組み着火し、火力を強めた後燐炭機を被せる | 【テミ】<br>（20杯分）<br>粃殻2袋分<br>1000〜<br>袋から直接もしくはテミを用いて燐炭機を覆う | 【角スコップ】<br>黒斑点<br>黒斑点が出たら地面に接する粃殻を燐炭化している箇所に移動、全体をかき混ぜる | 燐炭機を取り外して粃殻燐炭を台形に盛り20分おきに混ぜる（もしくは燐炭機を使用する） | 缶の中で密閉して保存し、冷却した後、粃殻袋に移し替える | 粃殻袋ごと持ち上げて床に流し込み、手で軽くならす |
| 時  | 2日                           | 5分                                                           | 5分                                                        | 5分                                                      | 5分                                         | 30分                         | 1日                       |
| 人  | 4人                           | 1人                                                           | 1人                                                        | 1人                                                      | 1人                                         | 2人                          | 2人                       |

表 6 粃殻燐炭による床断熱

## 4. 総合評価

施工性、利点、改善策を表に整理した（表 7）。施工性を人×時間とし、1 m<sup>3</sup>あたりで算出すると、稲藁ブロックは37.0、粃殻消石灰は53.7、粃殻燐炭は32.6であった。次に各断熱材の特徴を整理した。稲藁ブロックの利点は断熱性能が基準を満たすこと、ベラー以外に大きな道具や環境を必要としないことが挙げられる。さらに改善するために、稲藁の収穫後、防虫に効果のあるくん煙剤で燻す、稲藁裁断時にブロックの寸法よりも15〜20mm短く裁断する、稲藁の端を揃えて保管する棚を製作するとよい。粃殻消石灰の利点は消石灰の防虫効果やブロックや打設等の住宅形状への適応能力があることが挙げられる。さらに改善するために、木摺板として幅90mm未満の板を使用し通気性を高める、密度を小さくするために打設時に玄能やゴムハンマーを使用せずに手の力のみで圧縮する、消石灰

と水の割合を小さくするとよい。粃殻燻炭の利点は断熱性能が基準を満たすこと、燻炭の防虫効果が挙げられる。さらに改善するために、屋根や壁に施工する場合は目の細かい布を袋状にして中に詰めるとよい。

| 種類           | 作業時間     | 断熱規模(人×時間)/m <sup>2</sup> | 道具   | 製作        | 施工          | 利点           | 改善策                                                                                 |
|--------------|----------|---------------------------|------|-----------|-------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 屋根<br>稲藁ブロック | 約 300 時間 | 8.15 m <sup>2</sup>       | 37.0 | 24<br>8%  | 240<br>80%  | 38<br>12%    | ・断熱材の熱性能を満たす<br>・大きな道具や環境を必要としない<br>・くん煙剤を使用して防虫対策を行う<br>・裁断した稲藁を揃えて保管できる棚を製作する     |
| 壁<br>粃殻消石灰   | 約 49 時間  | 2.668 m <sup>2</sup>      | 53.7 | 2.5<br>2% | 34.5<br>24% | 107.5<br>74% | ・消石灰による防虫効果<br>・ブロック、打設の適応能力<br>・幅の狭い木摺板を使用し、通気しやすい状態にする<br>・熱伝導率が高いため、消石灰と水の割合を減らす |
| 床<br>粃殻燻炭    | 約 65 時間  | 5.112 m <sup>2</sup>      | 32.6 | 0<br>0%   | 34<br>11%   | 133<br>89%   | ・断熱材の熱性能を満たす<br>・燻炭化による防虫効果<br>・流動的な断熱材であり施工部位に限られるため、屋根や壁に施工する場合は目の細かい布を袋状にして使用する  |

表 7 粃殻燻炭による床断熱

## 5. 結

本研究では、千葉県鴨川市北釜沼集落に立地する木造伝統構法住宅を対象に、農村集落から収集可能な農業副産物である稲藁および粃殻を主原料とした断熱材を製作し、それらの試験体を作成して熱伝導率を測定した。さらに、屋根・壁・床への施工を通じて施工性を検証し、その成果を木造住宅の構法へと活用するための知見を提示することで、木造伝統構法住宅における稲藁および粃殻を用いた断熱手法の一端を明らかにした。

### [参考文献]

- 1) 水沼信・中園真人・中村安弘:もみ殻を充填した二重落とし込み木板パネルの断熱性能実験, 日本建築学会技術報告書, 第 22 号 pp. 269-273, 2005. 12
- 2) 水沼信・中村安弘・中園真人:稲藁ともみ殻と主原料とするリサイクル断熱材の開発と基本性能評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 616 号, pp. 37-43, 2007. 6
- 4) 株式会社市ヶ谷出版社 建築・土木書籍出版, 建築材料(第四版), p. 183
- 5) 文献断熱建材協議会, 断熱建材ガイドブック, pp. 22-23, 2017. 6

### [注]

- 1) (表 2)において、通気層があり外気に触れている部材, 透湿防水シートは熱抵抗値を「-」と表記し、熱貫流率の計算に含まない。
- 2) 熱貫流率は、住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム,  
(<https://house.lowenergy.jp/program>), (参照日:2026. 1. 23)を使用した。

### ( 発 表 論 文 )

2026 年度 日本建築学会大会 提出予定