木質系廃棄物からのエコカーボンボードの開発

小幡　透*，日髙富男**，西　和枝*，新村孝善***

Deveropment of Charcoal Board that Considers Environment from Wood-Wastes

Toru OBATA, Tomio HIDAKA, Kazue NISHI and Takayoshi SHINMURA

木質系廃棄物を炭化させ，得られた炭化物を原料としたエコカーボンボード（資源循環型炭化物ボード）を開発した。エコカーボンボードは表面を障子紙で被覆し，セルロース系繊維を混合することにより，石膏ボード並みの強度が得られ，現場での作業性が良いものを製造できるようになった。また，調湿性能やガス吸着性能も見られ，実験棟での温湿度測定においても調湿作用や断熱効果が確認できたことから，住環境の改善が期待できるボードを開発することができた。

Keyword：木質系廃棄物，エコカーボンボード，建設発生木材，グルコマンナン

１．　緒　　言

建築物の解体工事や土木工事等に伴って排出される建設発生木材（木くず，伐採根等）は，建設リサイクル法により再資源化が義務づけられている。本県における平成17年度の再資源化率は73％[1)]であり，その他は主に焼却処分されている。しかし，平成22年度までの再資源化の目標値は75％[1)]であり，再資源化率を向上させるとともに，地球温暖化の原因となっている温室効果ガスの発生量を減少させるためには，焼却処分量も減少させなければならない。

また，鹿児島県は竹資源が豊富に存在し，竹林面積・竹材生産量ともに全国一であるが，労働者の高齢化，労働力不足や竹材利用量の減少等から，未利用のまま放置されている竹林も多い。

一方，著者らは以前より炭化物[2)]，特に竹炭に関する研究[3)~6)]を行っており，その利用方法の一つとして炭化物ボードの製造に取り組み，その製造方法の特許を取得している[7)]。しかし，ボードの強度が弱いと施工中に欠損しやすく，また表面に炭が露出している場合には施工場所が限定される等の問題がある。

そこで本研究では,木質系廃棄物や未利用資源を炭化し，得られた炭化物を原料とした運搬や現場での加工性が良く，より高強度で仕上げ材として利用できるエコカーボンボード（資源循環型炭化物ボード）を開発し，VOC（Volatile Organic Compound：揮発性有機化合物）の吸着特性等の解明を行い，住環境の改善を図ることを目的とした。このことから，木質系廃棄物の有効利用，二酸化炭素発生量減少を図ることも目論んだ。

*化学・環境部
**木材工業部
***化学・環境部（現　素材開発部）

２．　実験方法

２．１　炭化物の製造

物性試験用炭化物の原料は，分別解体された建設発生木材（主にスギ材。以下，建築廃材）およびモウソウチクを用いた。建築廃材は，産業廃棄物中間処理業者から譲受し，モウソウチクは県森林技術総合センターの試験林にて伐採した。炭化は，電気炉により窒素雰囲気下で行った。炭化条件は以下のとおりである。

昇温速度：３℃/min
炭化温度：400，500，600，650，700，800，900℃
保持時間：３時間（炭化温度に達してからその温度を保持する時間）

２．２　炭化物の物性試験

炭化物の物性試験は以下の方法で行った。

・pH：「JIS K 1474　活性炭試験方法」に準拠した。
・全炭素分析：SUMIGRAPH NC-900H（(株)住化分析センター製）を用いて，燃焼酸化－熱伝導度測定法により測定した。
・ヨウ素吸着性能：「JIS K 1474　活性炭試験方法」に準拠した。
・比表面積測定：AUTOSORB-1(ユアサアイオニクス(株)製)を用いて，窒素ガス吸着BET法により測定した。
・吸放湿試験：小型恒温恒湿器(タバイエスペック(株)製)を用いて，温度および湿度を設定し，恒温恒湿器内に静置した試料の重量変化を追跡した。

２．３　ガス吸着試験

吸着ガスは，ホルムアルデヒド・アンモニア・トルエンを用いた。試験は以下の手順で行った。また，吸着試験の様子を写真１に示す。

（１）試料の準備：建築廃材木炭および竹炭は，粉砕し絶

乾状態にしたものを用いた。また，エコカーボンボードは，ボードを約12cm四方に切断し，小口面および裏面はすべて，表面は吸着面が10×10cmになるようにアルミテープでシールし，絶乾後，試験雰囲気（20℃，65%RH）で１日以上養生した。

（２）濃度調整：上記の液体試薬をマイクロシリンジを用いて内容積約100Ｌのテドラーバッグに分取し，空気ボンベから空気を導入し試薬を気化させて調整した。

（３）試料：建築廃材木炭および竹炭の吸着試験においては，（１）で準備した粉末試料1.0ｇをシャーレに量り取り，10Ｌのテドラーバッグ内に封入し，バッグ内の空気をアスピレーター等で抜き取った。また，エコカーボンボードの吸着試験においても，（１）で準備した試料を同様にテドラーバッグに封入した。

（４）ガスの導入：（２）で調整したガスを（３）のテドラーバッグに約10Ｌ導入した。エコカーボンボードの吸着試験では，このとき試料負荷率は約１m^2/m^3である。

（５）濃度の追跡：ガステック製ガス採取器およびガス検知管を用いて，テドラーバッグ内の気体を所定量採取しながら濃度を測定した。

写真１　テドラーバッグ法によるガス吸着試験

２．４　ボードの製造方法

原料の炭は，いずれも市販されているものを用いた。建築廃材を炭化した建築廃材木炭(鹿児島県リサイクル(株)製)，土木廃材を炭化した土木廃材木炭((株)ウエストワーク製)および竹炭(鶴田竹活性炭製造組合製）を使用し，いずれの炭も粒径3.3mm以下の大きさに調整した。ボード成形におけるバインダーは特許[7]のとおり，こんにゃくの主成分であるグルコマンナン(微粒子こんにゃく粉：(株)荻野商店製）を用いた。ボードの製造は，炭に水とグルコマンナンを加えて撹拌し，あらかじめ底面に表面素材を敷いた300×300mmの型枠に入れて，さらに上面を表面素材で被覆して圧縮成形機（(株)神籐金属工業所製ANSF-100型)にてプレス成形を行った。試作した炭化物ボードは風乾後，定温器にて85℃，12時間乾燥させた。

２．４．１　表面素材

炭化物ボードにおける表面素材の曲げ強度に対する効果を検討するために，土木廃材木炭と竹炭を用いて表面素材なし，ポリエステル不織布（厚さ0.2mm：旭化成(株)製），ポリ乳酸不織布（厚さ0.4mm：ユニチカ(株)製）および障子紙（厚さ0.1mm：有泉商店製）で被覆したボードを試作した。製造条件は，土木廃材木炭200ｇに水100mlとグルコマンナン40ｇ，竹炭200ｇに水100mlとグルコマンナン20ｇとした。このときのプレス条件は，100℃，10分，圧力は建築廃材木炭および土木廃材木炭使用時が8.4N/mm^2，竹炭使用時が5.1N/mm^2である。

２．４．２　バインダー量

建築廃材木炭200ｇまたは土木廃材木炭200ｇに水100mlとグルコマンナンを20～60ｇ添加してボードを試作した。また，竹炭300ｇに水100mlとグルコマンナン18～36ｇを添加してボードを試作した。

さらに，グルコマンナン精製時に得られるこんにゃく飛粉をバインダーとしてボードを試作した。このとき，建築廃材木炭200ｇに水100mlとこんにゃく飛粉20～80ｇを添加してボードを試作した。なお，いずれも表面には障子紙を用いた。プレス条件は，温度100℃，時間10分，圧力は建築廃材木炭および土木廃材木炭使用時が8.4N/mm^2，竹炭使用時が5.1N/mm^2である。

２．４．３　ボードのプレス条件

建築廃材木炭200ｇに水100mlとグルコマンナン40ｇを添加してプレス圧を5.1，6.8，8.4N/mm^2と変化させてボードを試作した。

また，建築廃材木炭200ｇに水100mlとグルコマンナン40ｇを添加してプレス時間を10分，プレス圧8.4N/mm^2とし，プレス温度を80～120℃に変化させてボードを試作した。なお，いずれも表面には障子紙を用いた。

２．４．４　繊維の添加

土木廃材木炭200ｇにグルコマンナン40ｇと水150ml，さらに２種類の繊維（紙くずとスギ樹皮）を０～50ｇ添加してボードを試作した。また，建築廃材木炭200ｇにグルコマンナン40ｇと水150mlに紙くずを０～40ｇ添加してボードを試作した。さらに，竹炭200ｇにグルコマンナン20ｇと水150mlに紙くずを０～50ｇ添加してボードを試作した。なお，いずれも表面には障子紙を用いた。プレス条件は，温度100℃，時間10分，圧力は建築廃材木炭および土木廃材木炭使用時が8.4N/mm^2，竹炭使用時が5.1N/mm^2である。

２．４．５　水酸化カルシウムの添加

建築廃材木炭300ｇにグルコマンナン40ｇと水150mlに水酸化カルシウムをグルコマンナン量の０～８％添加してボードを試作した。なお，いずれも表面には障子紙を用いた。

２．５　炭化物ボードの曲げ強度試験

試作した炭化物ボードは，精密万能強度試験機（(株)島津製作所製AG-100KNE形）を用いて曲げ強度試験を行った。試験方法は，「JIS A 1408　建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験」に準拠し，長さ300mm×幅240mmに切断した試験体

を５㎜／分の速度で曲げ試験を行った。なお，炭化物ボードの厚さは4.4～8.0㎜，比重は0.51～0.60であった。

２．６　表面素材の剥離強さ試験

「JIS K 6854-2　接着剤－はく離接着強さ試験方法－第２部：180度はく離」に準拠し，100㎜／分の速度で180度剥離を行い，接着強さを評価した。なお，剥離試験には繊維引張試験機（(株)島津製作所製AGS-5kNB形）を用いた。

３．　結果および考察

３．１　木質系廃棄物および炭化物の有害金属分析

木質系廃棄物，特に建築廃材を再利用する際に注意しなければならないのは，防蟻剤由来の有害金属が含まれていないということである。家屋等の解体については，解体業者が分別解体し，有害金属等の含まれていない解体材については中間処分場に，有害金属の含まれているものについては管理型処分場に搬入しなければならない。

そこで，建築廃材を譲受した中間処理業者に搬入された建築廃材およびその炭化物（建築廃材木炭），道路建設等の土木工事で排出された土木廃材から製造された木炭（土木廃材木炭），モウソウチクを炭化して得られた竹炭について，防蟻剤として代表的なものであるCCA処理剤の成分である銅(Cu)，クロム(Cr)，ヒ素(As)の含有量を測定した。なお，これらの木炭および竹炭は市販されているものである。また，有害金属の分析は(財)鹿児島県環境技術協会に委託した。分析結果を表１に示す。建設廃材は分別解体されたものであるために，各金属ともほとんど含まれていなかった。また，適正に分別解体された廃材を炭化した建築廃材木炭１についても土壌汚染対策法および肥料取締法の基準値以下であった。ところが，適正に分別されていないと思われる建築廃材を炭化した建築廃材木炭２では，両基準値を大きく超える結果であった。このように，建築廃材については，分別の状況によって有害金属の含有量は大きく異なることから，家屋等の解体業者は分別解体の意識を持って作業に取り組むことが望まれる。特に，炭化を目的とする場合には，炭化処理によって含有物質は濃縮され，濃度は原料よりも高くなることから，徹底した分別が必要である。一方，土木廃材木炭および竹炭は両基準値よりも低濃度であった。なお，CCA処理した木材を分析した結果，両基準値を大幅に上回る濃度であったことからも，徹底した分別解体が必要であることがうかがえる。

表１　木質系廃棄物および炭化物の有害金属分析

（単位：mg/kg）

試　料	銅(Cu)	クロム(Cr)	ヒ素(As)
建築廃材	2	< 1.0	< 1.0
建築廃材木炭１	54	160	22
建築廃材木炭２	800	390	580
土木廃材木炭	13	18	< 1.0
竹　　炭	14	28	< 1.0
CCA処理材	1,400	2,200	2,300
土壌汚染対策法	－	250以下	150以下
肥料取締法	600以下 (推奨値)	500以下 (公定法)	50以下 (公定法)

３．２　建築廃材木炭および竹炭の物性試験

建築廃材を炭化して得られた建築廃材木炭，モウソウチクを炭化して得られた竹炭の各種物性試験を行った。結果を表２，表３に示す。建築廃材木炭，竹炭ともに炭化温度の上昇とともに木材中に含まれる官能基等が消失するために，収率は減少傾向を示し，全炭素分は増加傾向を示した。また，pHは炭化温度の上昇とともに酸性を示す成分が消失

表２　建築廃材木炭の物性

炭化温度 (℃)	炉内温度 (℃)	pH	収率 (%)	全炭素 (%)	ヨウ素吸着 (mg/g)	比表面積 (m^2/g)
400	373	9.0	33.8	79.3	60	7
500	476	9.4	29.5	86.1	260	95
600	559	9.6	27.4	89.7	400	312
650	614	9.6	26.1	91.9	460	341
700	656	9.6	26.0	91.5	500	355
800	746	9.5	24.1	92.2	600	370
900	834	9.5	24.4	92.0	450	367

表３　竹炭の物性

炭化温度 (℃)	炉内温度 (℃)	pH	収率 (%)	全炭素 (%)	ヨウ素吸着 (mg/g)	比表面積 (m^2/g)
400	371	9.5	34.2	78.4	60	0.5
500	466	9.8	30.1	85.4	240	129
600	563	9.8	28.4	87.0	290	263
650	612	9.8	27.5	88.5	330	274
700	655	9.9	27.3	89.3	350	276
800	739	10.0	27.0	90.3	320	273
900	835	10.0	25.9	89.3	250	177

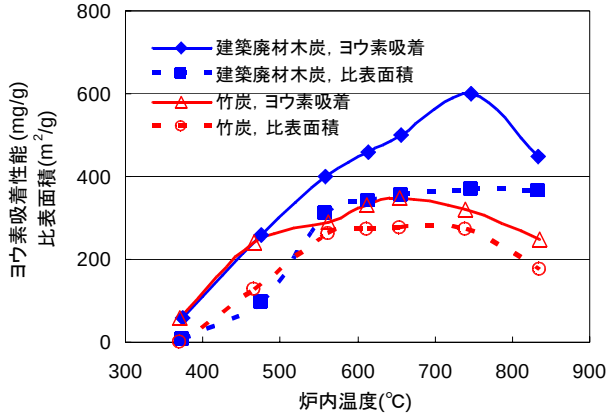

図１　建築廃材木炭，竹炭のヨウ素吸着性能および比表面積

するために，高くなる傾向を示した。ヨウ素吸着と比表面積の測定結果を図１に示す。建築廃材木炭ではヨウ素吸着，比表面積ともに700～800℃で極大となり，竹炭では600～700℃で極大となった。

３．３　建築廃材木炭および竹炭の吸放湿試験

前項の建築廃材木炭および竹炭のうち，炭化温度500，650，800℃で炭化し，絶乾状態にしたものを約１ｇずつ秤量瓶に量り取り，吸放湿試験を温度25℃，相対湿度50%および90%の条件で行った。結果を図２，図３に示す。建築廃材木炭，竹炭ともに高湿度時に水分量が増加し，低湿度時に減少していることから，吸放湿の能力を有していることが確認でき，湿度を変化させたときに急激に水分量が変化していることから，吸放湿の速度は速いことが明らかになった。また，炭化温度の上昇とともに水分量は多くなり，その量は木炭の方が多くなっているが，このことは比表面積値に依存していることも明らかになった。なお，高湿度時と低湿度時の水分量の差は，炭化温度に関わらずほぼ同量であった。

３．４　建築廃材木炭のガス吸着試験

炭化で得られた建築廃材木炭について，炭化温度400，650，900℃のものついて，以下のガス吸着試験を行った。

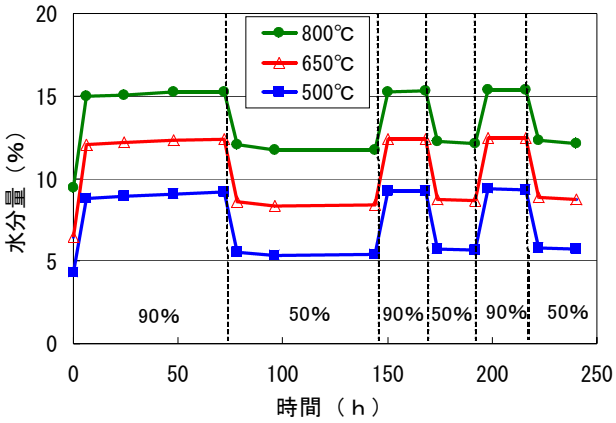

図２　建築廃材木炭の吸放湿試験

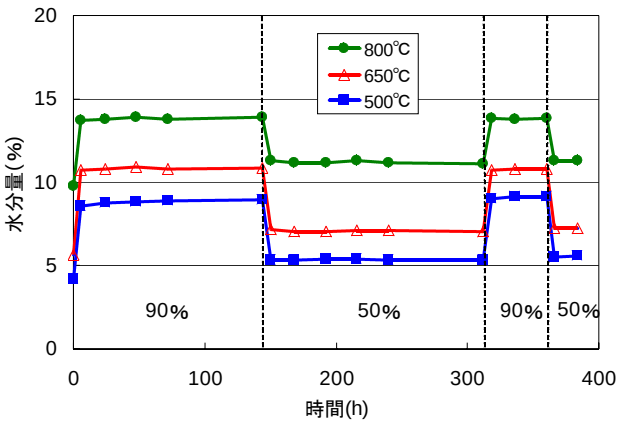

図３　竹炭の吸放湿試験

３．４．１　ホルムアルデヒド吸着試験

建築廃材木炭のホルムアルデヒド吸着試験結果を図４に示す。吸着初期の段階で高温炭化物のほうがホルムアルデヒドの吸着速度は速かった。ホルムアルデヒドは弱酸性のガスであることから，pHの高い高温炭化物への化学吸着が優位に起こり，吸着初期の段階で差が現れたものと予想される。

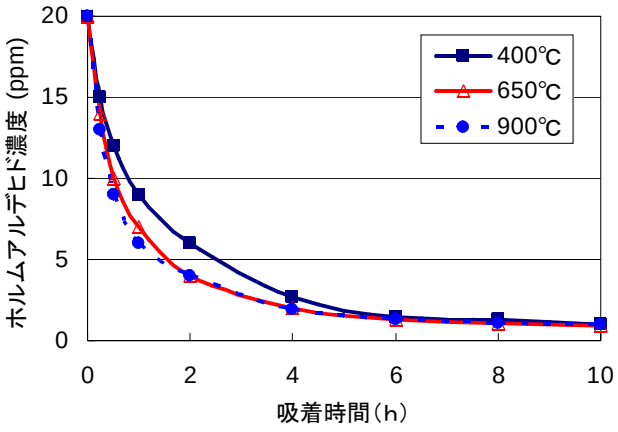

図４　建築廃材木炭のホルムアルデヒド吸着試験

３．４．２　アンモニア吸着試験

建築廃材木炭のアンモニア吸着試験結果を図５に示す。アンモニアは塩基性のガスであることから，酸性官能基の残存する低温炭化物との化学吸着が予想される。一方，高温炭化物はpHが高いために塩基性のアンモニアとは化学的に反発する関係にあり，吸着速度は遅くなると推察される。低温炭化物は比表面積値が小さいにも関わらず，吸着速度が速くなったことから，アンモニアの吸着においては化学吸着が大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

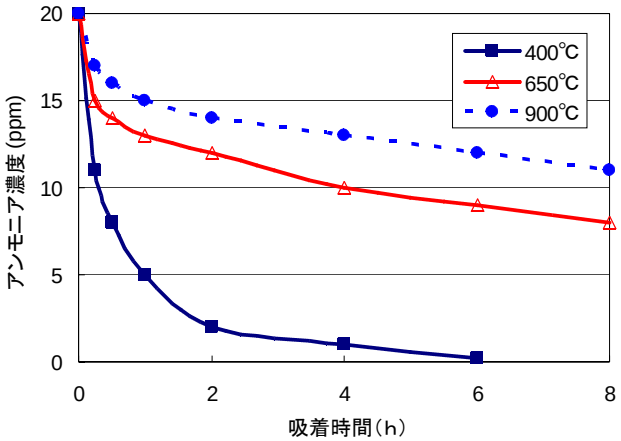

図５　建築廃材木炭のアンモニア吸着試験

３．４．３　トルエン吸着試験

建築廃材木炭のトルエン吸着試験結果を図６に示す。トルエンは中性ガスであるために化学吸着はなく，物理吸着

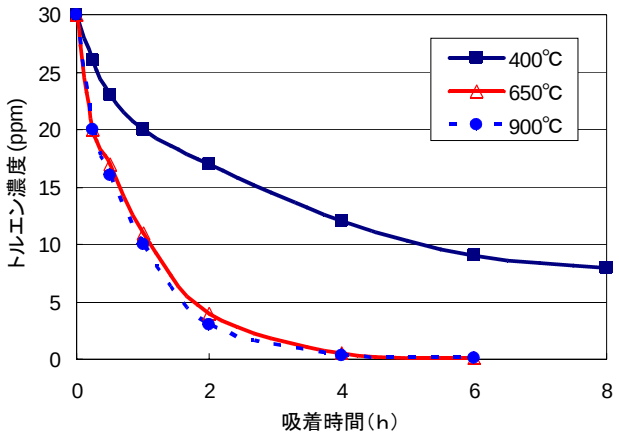

図６　建築廃材木炭のトルエン吸着試験

のみ考えられる。比表面積の大きな900℃，650℃が吸着速度が速く，比表面積が小さな400℃は吸着速度がかった。

３．５　エコカーボンボードの開発

市販の建築廃材木炭および竹炭を用いて，以下のような製造条件を検討し，エコカーボンボードを試作した。試作に用いた建築廃材木炭および竹炭の主な物性は表４のとおりである。

表４　ボードの原料に用いた炭化物の物性

	pH	全炭素（%）	ヨウ素吸着（mg/g）	比表面積（m^2/g）
建築廃材木炭	9.6	81	200	275
竹　　炭	10.3	90	90	65

３．５．１　表面素材の効果

炭化物ボードは，そのままでは表面に炭が露出するために触ると汚れる恐れがあるので，表面に用いる素材について検討を行った。ボードの曲げ強度試験結果を図７に示す。試験の結果，障子紙を用いた場合に木炭ボードで3.2N/mm^2，竹炭ボードで4.2N/mm^{2}と最も高い強度が得られた。

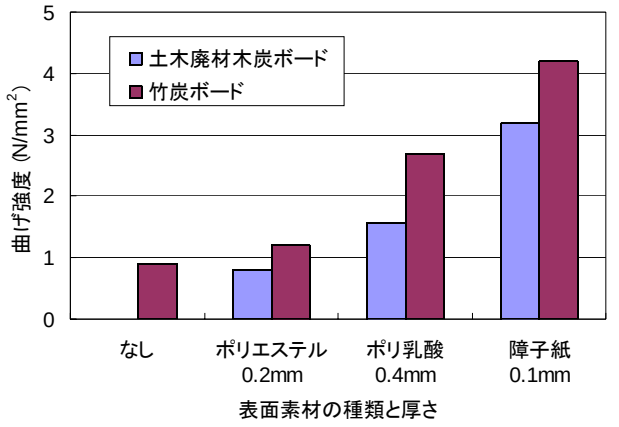

図７　炭化物ボードにおける表面素材と曲げ強度の関係

３．５．２　表面素材の剥離試験

前項において，炭化物ボードの表面素材に障子紙を用いたときに最も強い曲げ強度を示したことから，表５の条件でボードを試作し，表面素材のボード本体への接着強さを測定した。

剥離接着強さ試験の結果を表６に示す。木炭ボード，竹炭ボードともに障子紙を表面に用いた場合に最も高い剥離強度が得られた。これらの結果から，ボードと表面素材がグルコマンナンによって強く接着されることにより曲げ強度が向上することが示唆された。

表５　剥離試験用ボードの製造条件

	木炭ボード	竹炭ボード
炭化物	土木廃材木炭 300 g	竹炭 200 g
グルコマンナン	60 g	20 g
プレス圧	8.4N/mm^2	5.1N/mm^2
プレス温度	100℃	100℃
プレス時間	10分	10分

表６　表面素材の剥離接着強さ

	表面素材	剥離強度（N）
木炭ボード	ポリエチレン不織布	0.3
	ポリ乳酸不織布	0.2
	障　子　紙	0.7
竹炭ボード	ポリ乳酸不織布	0.8
	障　子　紙	2.2

３．５．３　バインダー量の検討

構成材料である３種類の炭とグルコマンナンの配合割合を変えてボードを試作し，ボード成形に必要なグルコマンナン量の検討を行った。建築廃材木炭ボードと土木廃材木炭ボードの曲げ強度試験結果を図８に示す。建築廃材木炭200 g と土木廃材木炭200 g に対してグルコマンナンが40 g の時にいずれの木炭ボードで3.2N/mm^{2}と高い値を示した。

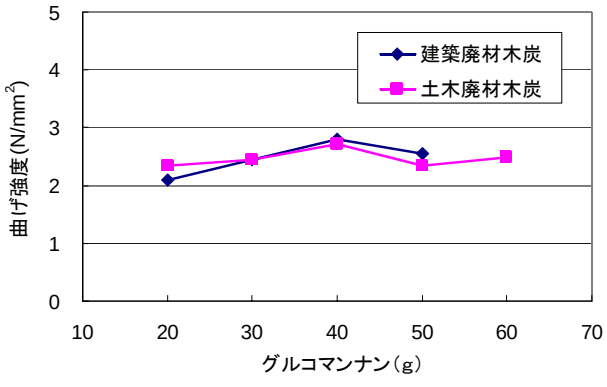

図８　木炭ボードにおけるグルコマンナン量と曲げ強度の関係

また，竹炭ボードの曲げ強度試験結果を図９に示す。竹炭300ｇに対してグルコマンナンが30ｇの時に4.2N/mm²と高い値を示した。

これらのことから，炭の重量に対して最適なバインダーの割合は,建築廃材木炭ボードと土木廃材木炭ボードでは,20%，竹炭ボードでは10%であった。

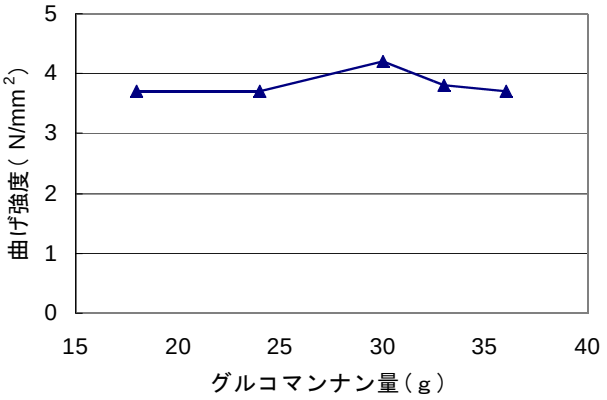

図９　竹炭ボードにおけるグルコマンナン量と曲げ強度の関係

炭化物ボードのコスト削減のために価格の安価なこんにゃく飛粉(蒟蒻芋からグルコマンナンを精製するときに出る副産物)をバインダーに用いてボードを試作した。飛粉中にはグルコマンナンが12～15%含まれている[8]ことからボードの製造は可能と予想した。建築廃材木炭とこんにゃく飛粉で試作したボードの強度試験結果を図10に示す。飛粉で試作したボードは強度が低く，飛粉の量が増えても強度への効果がほとんど見られないことから，飛粉は炭化物ボード製造のバインダーとして適していないと判断した。

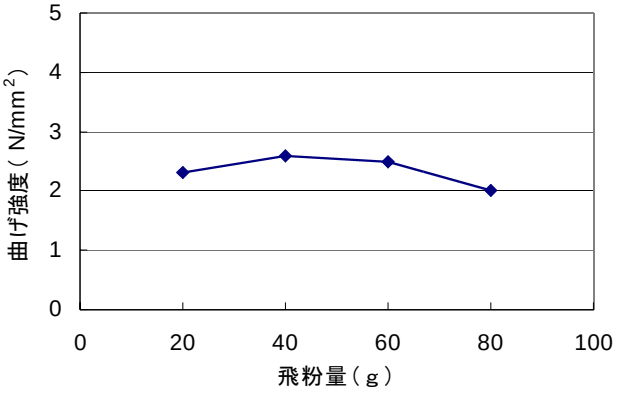

図10　建築廃材木炭ボードにおける飛粉量と曲げ強度の関係

３．５．４　木炭ボードのプレス条件

木炭ボードの成形条件を見いだすために，プレス時間，プレス温度，プレス圧について検討した。プレス圧を変化させたときのボードの曲げ強度試験結果を図11に示す。プレス圧が8.4N/mm²の時に曲げ強度が3.2N/mm²を示した。次に，プレス温度を変化させたときのボードの曲げ強度試験結果を図12に示す。プレス温度が100℃の時に高い曲げ強度を示した。以上の結果から，木炭ボード製造時のプレス条件は，温度100℃，時間10分，プレス圧8.4N/mm²とした。

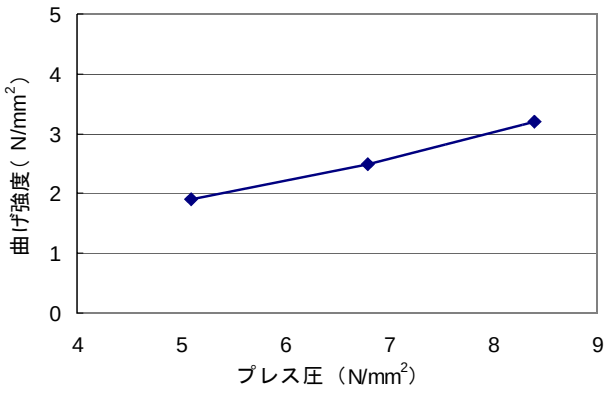

図11　建築廃材木炭ボードにおけるプレス圧と曲げ強度の関係

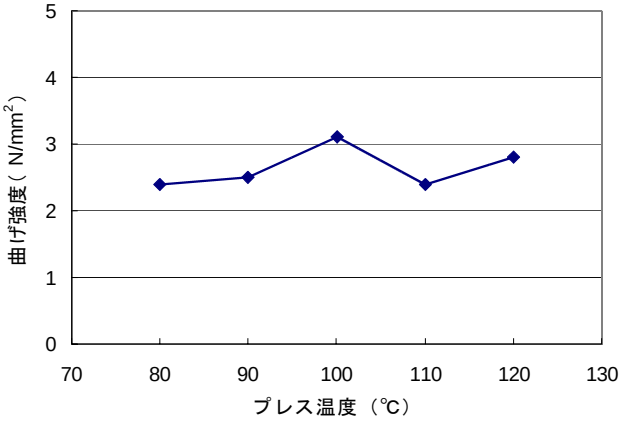

図12　建築廃材木炭ボードにおけるプレス温度と曲げ強度の関係

３．５．５　繊維の添加

土木廃材木炭とグルコマンナンに紙くず（シュレッダーダスト：長さ約30㎜）またはスギ樹皮（長さ約10㎜）を添加して製造した土木廃材木炭ボードの曲げ強度試験結果を

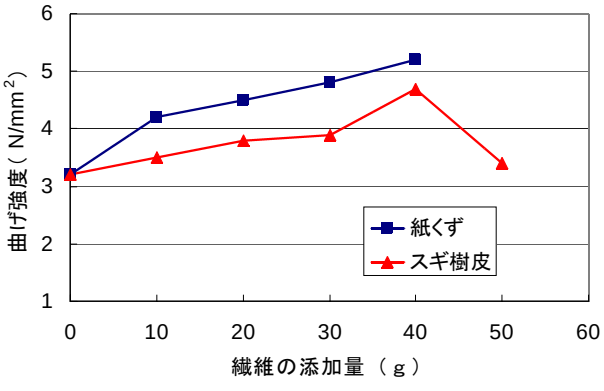

図13　土木廃材木炭ボードの曲げ強度における繊維の効果

図13に示す。繊維添加量の増加に伴い曲げ強度は向上する傾向が見られ，繊維を40ｇ添加するとそれぞれ曲げ強度が5.2N/mm²と4.8N/mm²となり補強効果が見られた。スギ樹皮よりも紙くずの方が曲げ強度への効果があった。。

スギ樹皮の添加量が50ｇになったとき強度が低下したが，グルコマンナンの量が40ｇと一定であるためにバインダー不足になったものと推察される。

建築廃材木炭ボードの曲げ強度試験結果を図14に示す。建築廃材炭ボードでは繊維を添加することによる強度の向上は見られなかった。

竹炭に紙くずを加えて製造した竹炭ボードの曲げ強度試験結果を図15に示す。土木廃材木炭ボードと同様に，紙くず量の増加に伴い強度が強くなる傾向が見られ，紙くずを40ｇ添加したときの曲げ強度は5.2N/mm²となり補強効果が見られた。

紙くずを50ｇ添加したときに強度の低下が見られるが，グルコマンナンの量が20ｇと一定であるためにバインダー不足になったものと推察される。

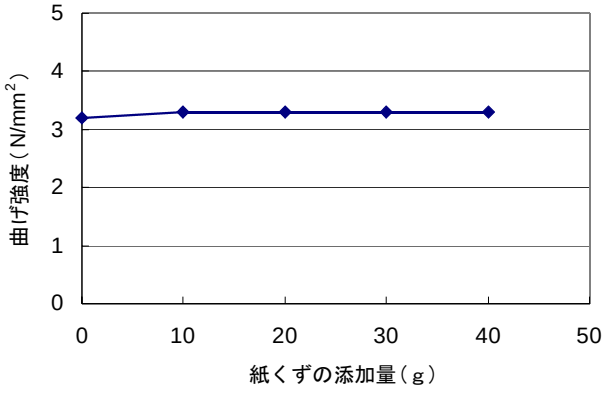

図14　建築廃材木炭ボードの曲げ強度における繊維の効果

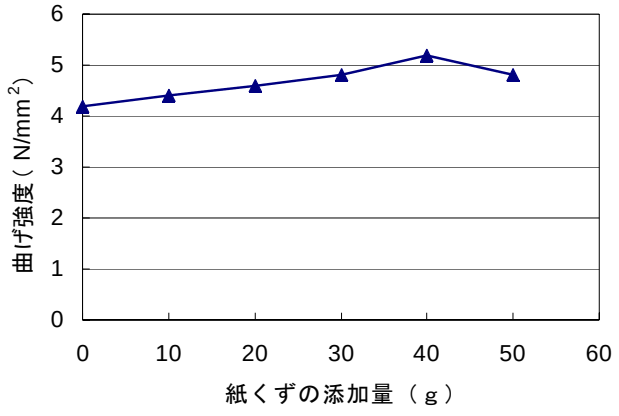

図15　竹炭ボードの曲げ強度における繊維の効果

３．５．６　水酸化カルシウムの添加

こんにゃくを製造する際，アルカリ(水酸化カルシウムや炭酸ナトリウム)と混合加熱してグルコマンナンをゲル化させていることから，水酸化カルシウムを添加すること

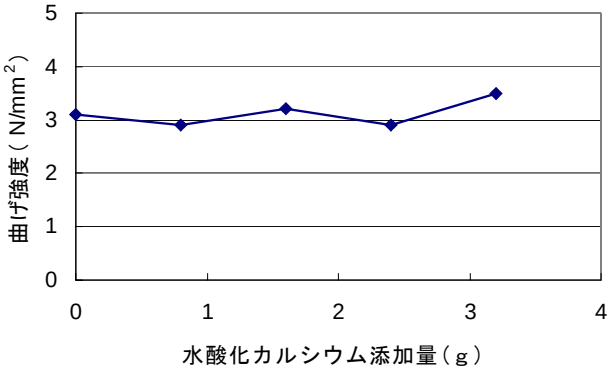

図16　建築廃材木炭ボードの曲げ強度における水酸化カルシウムの効果

によるボードの強度への効果について検討した。ボードの曲げ試験結果を図16に示す。水酸化カルシウムの添加による強度向上は見られなかった。

通常，こんにゃくを製造する際に添加されるアルカリ成分はグルコマンナン量の５％程度であり，ボード製造時に用いたグルコマンナンは，建築廃材木炭が含んでいたアルカリ成分と反応したために水酸化カルシウムを添加することで強度が向上しなかったと推察される。

３．５．７　炭化物ボードの曲げ強度の比較

これまでの結果をふまえて，最適な条件で試作した炭化物ボードの曲げ強度試験の結果を図17に示す。また，土木廃材木炭ボードの写真を写真２に示す。土木廃材木炭ボードの曲げ強度は5.2N/mm²，建築廃材木炭ボードは3.3N/mm²であった。どちらの木炭もスギが主原料であり，共にロータリーキルン式炭化炉で製造されていることから，木炭の炭化条件の違いが曲げ強度の差として表れていると推察される。２種類の廃材木炭の全炭素率を測定した結果，土木廃材木炭が90%，建築廃材木炭が81%であり，表２の結果から，それぞれ700℃程度と400℃程度で炭化されたものと推定される。炭化温度の低い建築廃材木炭には疎水性のタール分が残っているために，親水性のグルコマンナンの接着性を阻害していると推察された。

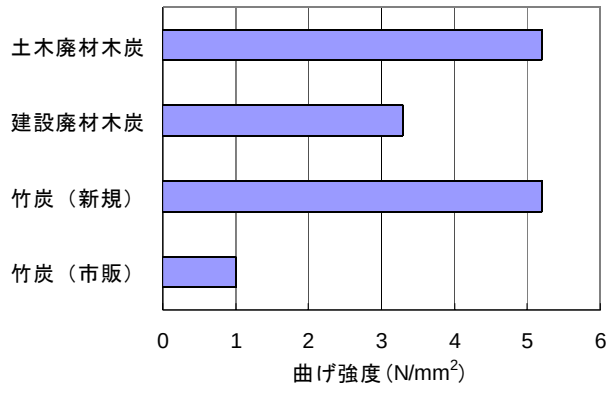

図17　炭化物ボードの曲げ強度の比較

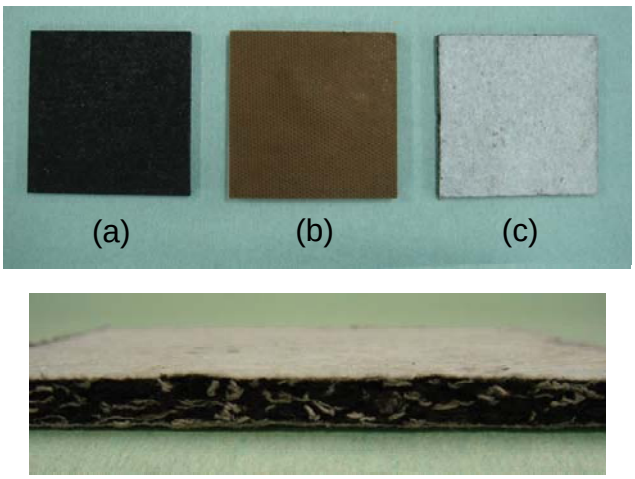

写真２　土木廃材木炭ボード
上段：表面素材の違い　(a)ポリエステル不織布
(b)ポリ乳酸不織布　(c)障子紙
下段：表面を障子紙で被覆した土木廃材木炭ボードの小口面。断面の白色は紙くず

竹炭ボードも表面を障子紙で被覆し，紙くずを添加することにより曲げ強度が5.2N/mm^2 なり，強度向上が図られた。石膏ボードの強度が約５N/mm^{2}であることから，土木廃材木炭ボードと竹炭ボードは，内装材としても十分な強度が得られた。

３．６　エコカーボンボードの吸放湿試験

土木廃材木炭および竹炭を原料としたエコカーボンボードの吸放湿試験を行った。ボードの製造条件は表７のとおりである。

上記条件で試作したボードを10×10cmに切断して絶乾状態にし，25℃，相対湿度50%および90%で吸放湿試験を行った。試験結果を図18に示す。粉末状の炭化物と比較して，平衡に達するまでの時間は長くかかるが，50%時と90%時の水分量の差が約５%と大きくなった（炭化物：３～４%）。炭化物と比較して平衡までの時間が長くかかるのは，製造時にプレス機で圧縮することが影響していると推察される。また，湿度変化時の水分量の差が大きくなったのは，ボード表面の障子紙やボード中の紙くずが影響していると推察される。

表７　吸放湿試験用ボードの製造条件

	木炭ボード	竹炭ボード
炭化物	土木廃材木炭 300 g	竹炭 200 g
グルコマンナン	60 g	20 g
紙くず	50 g	50 g
プレス圧	8.4N/mm^2	5.1N/mm^2
プレス温度	100℃	100℃
プレス時間	10分	10分

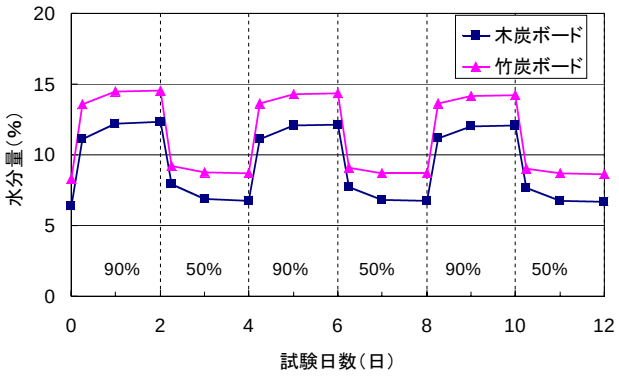

図18　エコカーボンボードの吸放湿試験

３．７　エコカーボンボードの湿度変化に対する耐久性

土木廃材木炭を原料としたエコカーボンボードの繰り返し吸放湿試験を行い，試験後の試料について曲げ強度を測定することにより，ボードの湿度変化に対する耐久性を評価した。ボードの製造条件は表７のとおりである。吸放湿試験の条件は，温度25℃一定で，相対湿度50%と90%を２日周期で変化させた。それぞれ10枚ずつ試験を行い，曲げ強度試験を行ったものについては最高値および最低値を除いた８試料の平均を取った。結果を図19に示す。吸放湿の繰り返し回数が増加しても，強度の変化はほとんど見られなかったことから，調湿作用を繰り返すことによる強度の低下はないと推察される。なお，曲げ強度の平均を取った８点の誤差は，平均値の約１割以内に収束した。

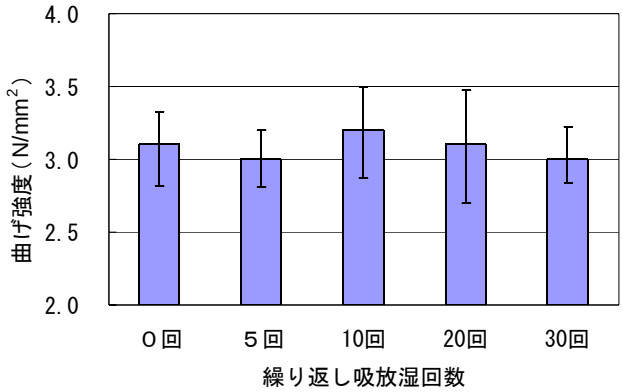

図19　土木廃材木炭ボードの湿度に対する耐久性

３．８　エコカーボンボードのガス吸着試験

土木廃材木炭を原料としたエコカーボンボードのガス吸着試験を行った。吸着試験に用いたボードの種類および原料は表８のとおりである。なお，ボードのプレス条件はプレス圧：8.4N/mm^2，プレス温度：100℃，プレス時間：10分である。試作したボードは２．３項に前述したように加工した。なお，吸着試験用ボードに含まれる土木廃材木炭は各48ｇである。

表８　ガス吸着試験用ボードの種類及び原料

番号	土木廃材木炭(ｇ)	ｸﾞﾙｺﾏﾝﾅﾝ(ｇ)	紙くず(ｇ)	表面素材
①	300	60	―	なし
②	300	60	50	なし
③	300	60	―	障子紙
④	300	60	50	障子紙

３．８．１　ホルムアルデヒド吸着試験

表８の４種類のボードについてのホルムアルデヒド吸着試験結果を図20に示す。原料に紙くずを用いない方が紙くずを混合したときよりも若干吸着速度が速かった。また，表面素材として障子紙を施した場合にも吸着速度が遅くなったことから，木炭以外のものの存在により，吸着がわずかに阻害されることが明らかになった。さらに，ボードと同量の木炭を用いて吸着試験を行った結果，吸着速度は格段に速いことから，プレス成形によりガスが細孔内に吸着しにくくなっていることが明らかになった。

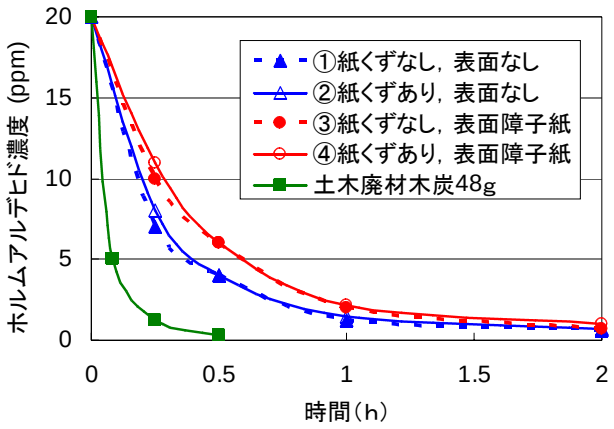

図20　土木廃材木炭を原料とした木炭ボードのホルムアルデヒド吸着試験

３．８．２　アンモニア吸着試験

前項と同様にアンモニア吸着試験の結果を図21に示す。アンモニアの場合にはホルムアルデヒド吸着時に見られたような紙くずや表面の障子紙の影響はほとんど見られなかった。木炭のみの吸着速度はボードよりも速く，プレス成形による影響が見られた。

３．８．３　トルエン吸着試験

ホルムアルデヒド，アンモニアと同様にトルエン吸着試験を行った。結果を図22に示す。吸着速度に対する紙くず，障子紙の影響はほとんどなかった。木炭のみの場合には急速に吸着が起こっており，プレス成形の影響が見られた。また，ボードへのトルエンの初期の吸着速度はホルムアルデヒド，アンモニアよりも遅いが，これはトルエン分子がホルムアルデヒド，アンモニア分子よりも分子径が大きく，

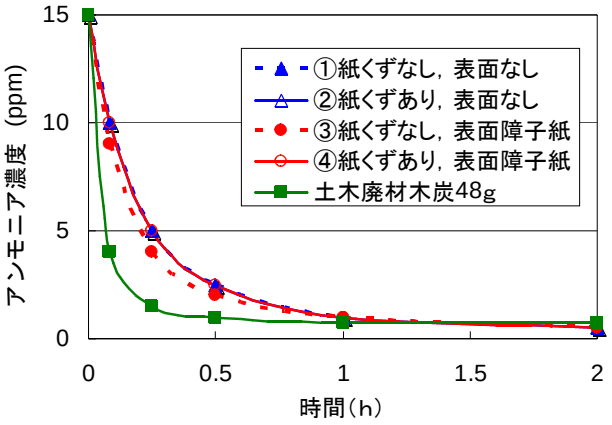

図21　土木廃材木炭を原料とした木炭ボードのアンモニア吸着試験

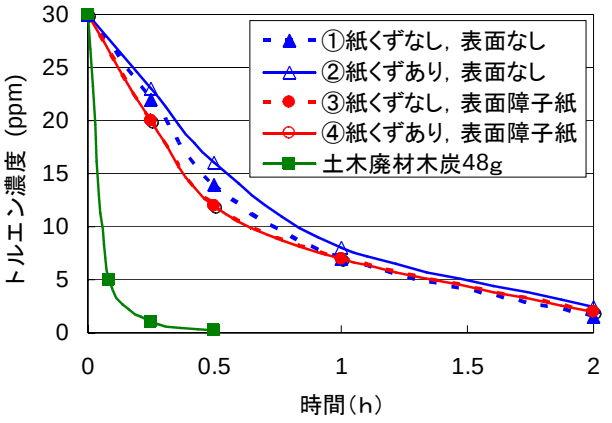

図22　土木廃材木炭を原料とした木炭ボードのトルエン吸着試験

プレス成形により細孔内への吸着が起こりにくくなったことから，特に初期の吸着速度が遅くなったと推察される。

３．９　実験棟における温湿度測定

エコカーボンボードの実用化に向けて450×900㎜の大きさに試作した竹炭ボードを，内寸が1.8×3.6×2ｍの実験棟の天井と壁に18枚（約7.3㎡，ドア・窓を除く総面積の約25%）施工し（試験区，写真３），竹炭ボードを施工していない対照区とともに温度および湿度の経時変化を測定した。一例として，平成19年６月６～11日の６日間の温湿度データを図23に示す。気温の高くなる日中は，試験区の方が最大で約２℃温度が低く，気温の低くなる夜間は試験区の方が約１℃高かった。日中は温度の上昇を抑制し，夜間は日中に温められた状態を保持して冷やされないようにしていることから，竹炭ボードによる断熱効果が示唆された。また，湿度については試験区は高湿度時に低湿度状態を保とうとし，低湿度時には高湿度状態を保とうとしていることから，調湿効果も併せて示唆された。

写真３　実験棟（試験区）に施工された竹炭ボード

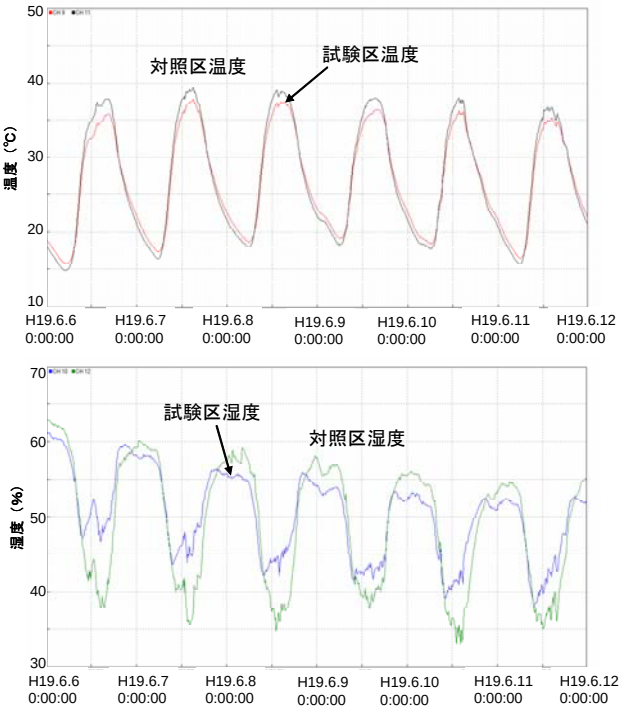

図23　実験棟における温湿度測定結果
（上段：温度，下段：湿度）

４．　結　　言

木質系廃棄物および未利用資源を炭化し，得られた炭化物を原料としてエコカーボンボードを試作した。その結果，以下のことが明らかになった。

（１）建築廃材は分別を適正に行うことにより，有害金属が含まれることはほとんどない。

（２）炭化物の吸放湿試験を行うことにより，炭化物の調湿性能が確認できた。また，水分の含有量は比表面積に依存した。

（３）炭化物のガス吸着試験では，吸着速度が比表面積値に依存する物理吸着が主に起こっているが，アンモニアの吸着については化学吸着が優位に起こり，比表面積値の小さな低温炭化物が吸着速度が速くなった。

（４）炭化物ボードの表面にセルロース系繊維を用いることでボードの強度が向上した。また，ボードにセルロース系繊維を添加することによりさらに強度が向上し，目標強度を達成することができた。

なお，ボードの製造方法については特許を出願した。
「木炭ボード及びその製造方法」（特開2008-087348）

（５）実験棟での温湿度測定を行い，エコカーボンボードの施工により,断熱効果および調湿効果が明らかになった。

謝　　辞

本研究を進めるにあたり，ご協力いただいた有限会社財部電子の茆原早準氏に謝意を表します。

なお本研究は，産業廃棄物税を用いた産業廃棄物排出抑制・リサイクル等推進事業の一環として行った。

参　考　文　献

1) 鹿児島県技術管理課：鹿児島県の建設副産物対策
2) 新村孝善，西元研了，宮原浩嘉，池本正二：鹿児島県工業技術センター研究報告，12，41-45（1998）
3) 松永一彦，新村孝善，西和枝，國生徹朗：鹿児島県工業技術センター研究報告，12，47-52（1998）
4) 松永一彦，新村孝善，西和枝，神野好孝，國生徹朗：鹿児島県工業技術センター研究報告，13，23-30（1999）
5) 小幡透，松永一彦，笠作欣一，前村記代，神野好孝：鹿児島県工業技術センター研究報告，15，35-37（2001）
6) 小幡透，田島英俊，森田慎一，神野好孝，鹿児島県工業技術センター研究報告，17，33-37（2003）
7) 森田慎一，新村孝善，松永一彦，茆原早準：特許第3357020 号（2002）
8) 石川香織：高知工科大学大学院修士論文（2002）