

平成 14 年度 農林水産省補助事業
木材産業再生のための新事業・起業
創出緊急対策事業

炭製造用窯の冷却性能試験

(課題番号：1418)

平成 15 年 10 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

山英建設株式会社

課題番号：1418

炭製造用窯の冷却性能試験

山英建設株式会社

要 旨

当社は炭の持つ化学的な能力に着眼し、粉碎した炭と自然素材とを混合して整形した室内建材（以下「炭ボード」という。）を3年ほど前に開発した。この炭ボードは、ここ数年来社会問題となっているシックハウス症候群の原因物質（ホルムアルデヒド、トルエンなど）を吸着・除去し、消臭効果、調湿効果など炭が古来活用されて来た能力も併せ持っており、炭の原料には間伐材、害虫被害木、製板不適材、廃木材などを使っている。

炭ボードの製造にあたっては製炭工程から入るが、原木を炭窯に投入してから焼成し取り出すまでに12日前後を費やしている。このうち最初の4日間は炭の生成に要する時間であり、後は冷却のためだけの時間となっている。この冷却時間が半分程度に短縮できれば炭ボードの量産化と低価格化が可能となり、延いては原木の大量消費に結びつくと考え、今回の試験を行うこととした。

キーワード

炭ボード、シックハウス症候群、室内有害化学物質、消臭効果、調湿効果、間伐材、害虫被害木、廃木材、冷却時間短縮

目 次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	3
3. 試験調査の内容	4
3.1 試験体	4
3.2 試験調査内容	5
4. 試験調査の日程	6
5. 試験調査の結果	7
5.1 第1回試験 通水しないで試験体設置予定窯のみ稼動(これまでの冷却方式)	7
5.2 第2回試験 通水して試験体設置窯のみ稼動	10
5.3 第3回試験 通水して試験体設置窯と隣接窯1基を稼動)	12
5.4 第4回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼動	15
5.5 第5回試験 通水して試験体設置窯のみ稼動(第2回と同条件で再度)	18
5.6 第6回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼動(第4回と同条件で再度)	20
5.7 試験調査結果のまとめ	22
6. 事業化の見通し	23
6.1 成果の直接的活用に関して	23
6.2 炭ボード製造コスト低減に関して	23
6.3 製炭のアウトソース化に関して	24
6.4 事業化に向けて	24
7. 今後の対応	25
7.1 冷却設備の改良	25
7.2 全既存窯への冷却設備	25
7.3 製炭アウトソース	25
7.4 冷却後の温水の利用	26
7.5 原木調達量の増加と森林資源有効活用への寄与	26
8. 特筆すべき成果	27

9. 試験調査委員会 委員	27
10. 技術者	28
11. 他からの指導又は協力事項	28
12. 参考文献	28
13. 参考資料	29

炭製造用窯の冷却性能試験

山英建設株式会社

1. はじめに

当社が開発した炭ボード（写真 1）は、間伐材、害虫被害木、製板不適材、製板端材、廃木材などを原料にした炭を粉碎し、澱粉のりなどの自然素材と混合して 910mm 四方、厚さ 12.5mm、重量 7.5Kg に整形した室内建材である。この炭ボードは既に「サイエンスボード」の名称で商品化しており、このボードの原料となる炭を「忍野炭（おしのたん）」と命名している。

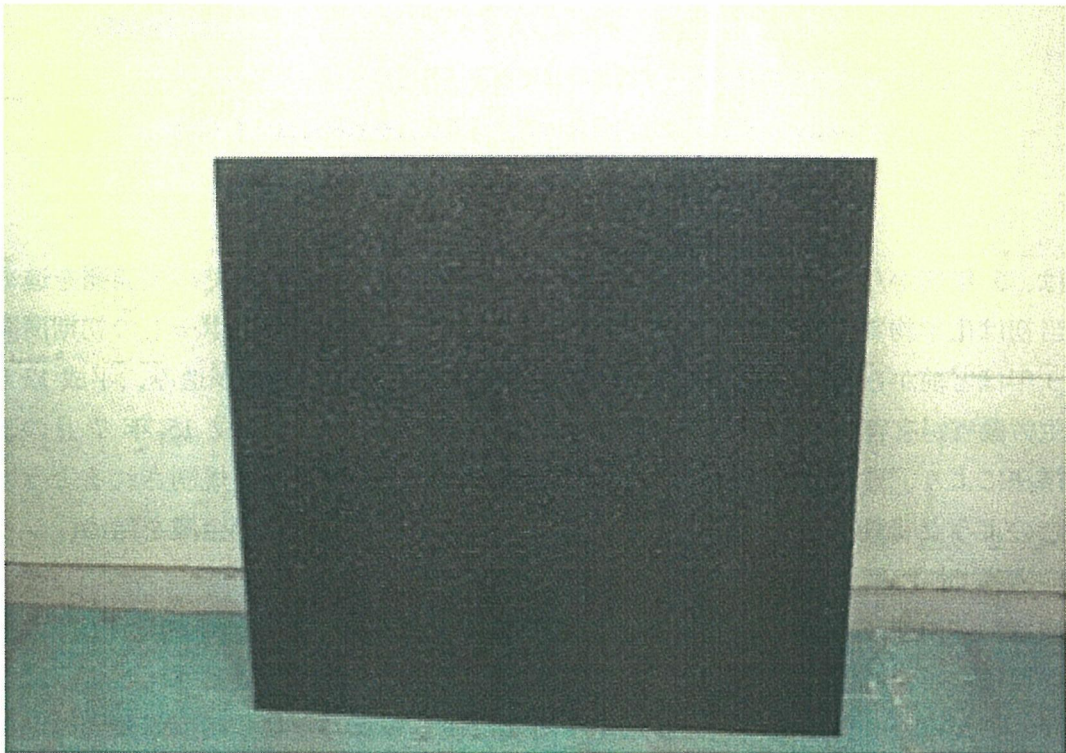
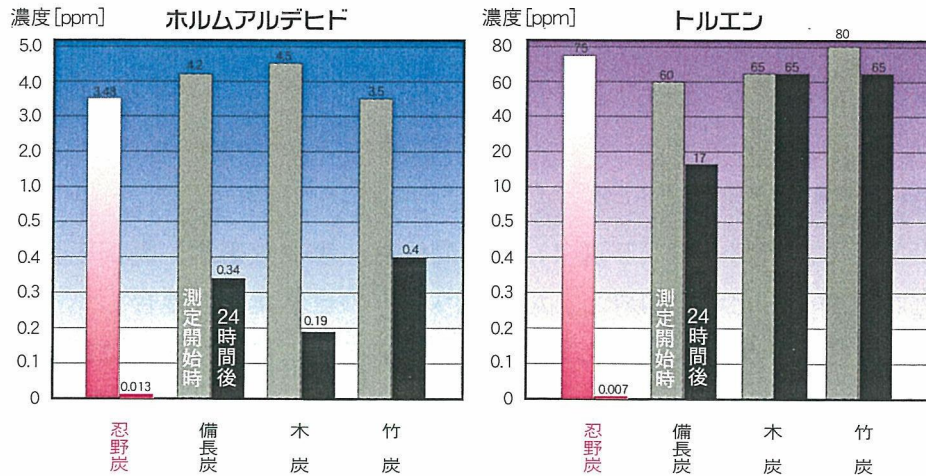


写真 1 炭ボード

この炭ボードは、近年社会問題となって来たシックハウス症候群や化学物質過敏症の原因である室内有害化学物質のホルムアルデヒド、トルエン、ベンゼン、キシレンなどを吸着・除去する能力を持っており（図 1）、財団法人ベターリビングより「化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材」として性能証明を受けている。（参考資料 1 参照）さらに炭が古来活用されて来た消臭や調湿などの効果も併せ持ち、室内建材として重要な準不燃材料としても国土交通省から認定されている。（参考資料 2 参照）

図 1 有害化学物質低減能力



出典：サイエンスボード・パンフレット(自社実験結果)

- 注:1) グラフ左端が炭ボードの原材料である「忍野炭（おしのたん）」
- 注:2) ホルムアルデヒドの室内濃度に対する厚生労働省指針値は 0.08ppm
- 注:3) トルエンの室内濃度に対する厚生労働省指針値は 0.07ppm

当社は、5年前からこれら炭の能力に着眼し、新潟薬科大学と共同で研究開発を進めて来た。当初は化学物質過敏症などほとんど知られていなかったが、炭ボードの初期開発を終えた3年ほど前から急速にシックハウス症候群に対する社会的認知が進み、平成13年8月に厚生労働省が有害化学物質の室内濃度指針値を発表したほか、平成15年7月の改正建築基準法により、建築物におけるホルムアルデヒドなどの取扱いが規制されるようになった。このような背景から現在、当社の炭ボードの存在を知った大手企業を始め、シックハウス症候群で悩む個人まで全国から引き合いが寄せられている。

この炭ボードの普及が進めば自ずと相応の量の炭が必要となり、それに比例して大量の原木が必要になるため、近隣を始めとした全国の林業関係者からも注目されるようになって来た。このようなことから当社の炭ボード事業は、シックハウス症候群対策のみならず、林業の面でも社会貢献できる可能性を持っているが、その中心となるのは製炭工程である。

炭ボードに用いる炭は、通常土窯で製造できる600℃前後を限界温度とした低温炭と、この事業で特別に開発した耐火窯で製造する1000℃～1200℃で生成する高温炭に焼き分けている。当社のこれまでの研究の結果、低温炭と高温炭は全く特性が異なっており、低温炭はアンモニアなどの臭いの成分をよく吸着する反面、ホルムアルデヒドやトルエンなどの気体はほとんど吸着しない。これに対して高温炭は低温炭とは全く逆の吸着特性を持っており、双方の炭を一定の割合で混合することが有害化学物質を吸着し、消臭効果も持つという当社炭ボードの吸着メカニズムとなる。

その製炭の工程は、窯に原木を投入してから最高1200℃の温度で焼成した後に自然冷却

し、50℃以下になった段階で炭を取り出す手順で進めている。この工程に要する日数は現在 12 日前後を要しているが、最初の 4 日間で炭が生成され、残りの 8 日間程度は完全に冷却のみの時間となっている。この冷却時間が量産化及び低価格化のネックとなっており、これを如何に短縮させるかが当社の炭ボード事業における当面の課題となっていた。

2. 試験調査の目的

今回の試験調査の目的は、前述のとおり製炭工程の冷却時間をどこまで短縮できるかである。当社が炭ボードを開発して来た背景には、シックハウス症候群の社会問題化と、間伐の促進や害虫被害木の処分など林業関係者が抱えている問題がある。当社が炭ボード事業を開始した時点においては、シックハウス症候群はターゲットとしていたものの、林業関係の問題は眼中になく、間伐材を分けてもらえば事業が成り立つ程度に考えていた。

ところが近隣を中心に話題が広がるに従い、地元森林組合や製材組合が間伐材を始めマツクイムシの被害に遭ったアカマツや、製材の端材などを炭の原木として納入したい旨申し入れて来たことから、林業が抱える様々な問題に突き当たり、地域への社会貢献も考慮して安価ながらも購入することとした。これを契機に山梨県林務部が積極的に機関誌などで広報するなどバックアップしていただけることとなり、全国の林業関係者に当社の存在が知られることとなった。

こうした中、原木納入の引き合いもさることながら、製炭を引き受けたいとの申し出も寄せられるようになり、当社としても原木での納入よりも炭で納入していただいた方が輸送コストが大幅に低減できるほか、炭ボードの製造工程も短縮できるため、製炭のアウトソーシングも事業展開の中に取り入れることとした。

しかし前述のとおり、どこで製炭するにしても当社が開発した耐火窯では次の要因により 1 サイクル 12 日前後の日数を要してしまう。

①一般的な土窯に比べ内部容積が大きいこと。

一般的な土窯：3～5 立方メートル → 当社耐火窯：15 立方メートル

②1200℃程度の高温に耐えられるよう内部が耐火レンガ製であること。

③一般の製炭は最高 600℃で焼成するが、当社的高温炭は 1000℃以上で焼成すること。

このため窯 1 基をフルに動かしても 1 カ月に 2 サイクルしか稼働しない。試算したところ窯の建造コストも考慮すると、最低でも 10 基程度の窯を擁しない限り製炭だけでは事業として成り立たないのではないかという結論に達したが、同時に冷却時間の短縮構想が浮かび上がった。冷却のみに要する 8 日間を、半分の 4 日程度に短縮できたとすれば 1 サイクル全体で 8 日程度となり、月に 3～4 サイクルの稼働が可能となる。これにより 1 カ月の炭の製造可能量が 2 倍近くになるため、今までどおり自社で製炭する場合の効率化はもとより、アウトソース先においても製炭だけで十分に事業化は可能と考えた。

以上のような背景と必要性から今回の試験調査を行うこととしたが、具体的な短縮目標を 4 日として進めることとした。

3. 試験調査の内容

既存の炭窯は、外形の最大幅 3.5m、奥行き 5.5m、平均高さ 1.5mの楕円形で、内部を 2 層の耐火レンガ、その外側を厚さ 300mm のコンクリートで覆った構造（写真 2）になっており、熱電対 3 本を設置して、窯内部の温度が常時測定及び記録できる状態となっている。（参考資料 3 参照）この窯が 500mm 間隔で 7 基併設してある。



写真 2 炭窯

3.1 試験体

冷却時間を短縮させる方法として、炭窯に何らかの冷却設備を設けることになるが、着手直後の設備計画段階では次の 3 点について検討した。

- ①大型の送風機を設置して強制的に送風する空冷方式
- ②窯に直接水をかける水冷方式
- ③導水管を設置して間接的に冷やす水冷方式

検討の結果、①では設備は簡単であるが送風機のランニングコスト（電気代）に相当の費用がかかる割に冷却効率に疑問が残ること、②では被覆コンクリートが内外の急激な温度差により破壊されてしまう恐れがあることから③方式を採用することとした。ただしこの場合も、導水管と窯が直に接触することによる被覆コンクリートの劣化を防ぐため、窯の外壁から 150mm 程度離し、伝熱用の土で覆う構造とした。

導水管は、直径 30mm、長さ 22400mm の銅管を写真 3 の形状に加工して 2 基製作し、窯の両側壁に写真 4 のように設置して伝熱用の土で覆った。

この導水管それぞれの一方の導水口を水源に通ずる鉄管に接続し、もう片方を排水用の鉄管に接続して通水させる。それぞれの接続箇所にはバルブを取り付けて開閉及び水量調整が行える構造とした。

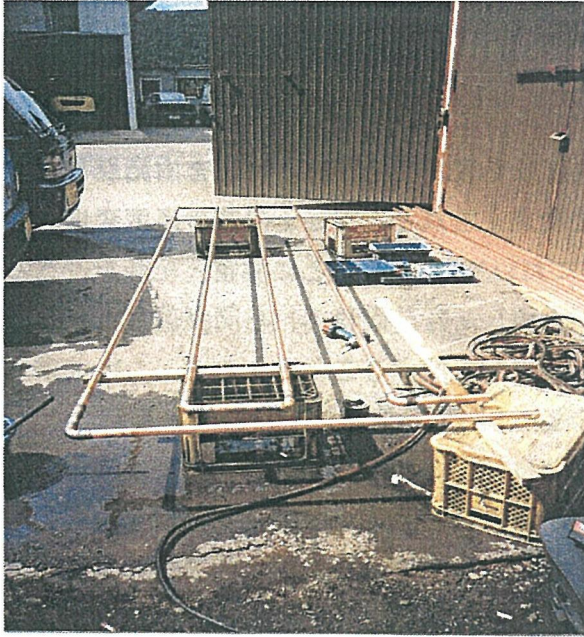


写真3 導水管構造

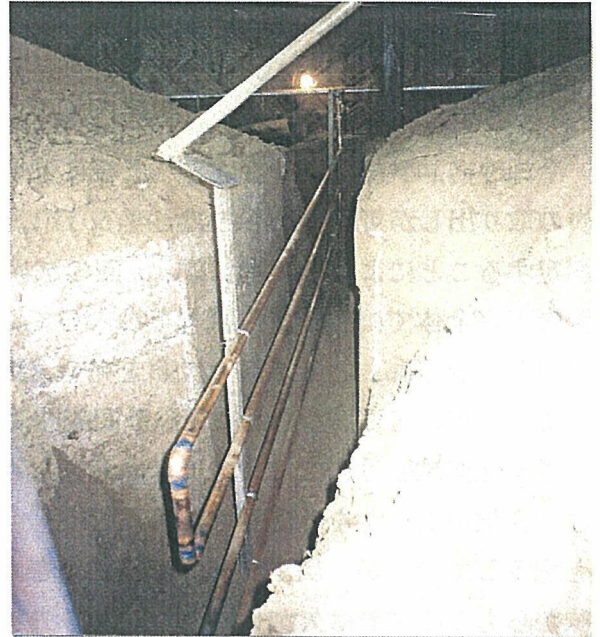


写真4 導水管設置

冷却用の水は、次の理由から井戸を掘削してその水を利用することとした。

- ①既存の施設が山林内にあるため水道設備がないこと。
- ②今後別の場所に炭窯を建造する場合にも、水道設備が期待できない山林内になる可能性が高いこと。
- ③稼働後の大量の水使用による水道代を考慮すると、当初の建造費用は必要となるものの、ランニングコストを抑えることが可能となること。

井戸は水源に到達するまで52mの掘削を行い、毎分150リットルの水量を得ることができた。(参考資料4及び参考資料5参照) 導水管内の流速は毎秒300mm程度のため、1本の導水管で毎分約13リットルの水量が必要となるが、仮に全部の窯に配管し全てに同時通水しても毎分104リットルで足りるため、水源としては充分確保できたことになる。

3.2 試験調査内容

試験調査は、冷却能力を検証するための冷却性能試験と、急速な冷却によって生成された炭に対し、有害化学物質の吸着能力に変化が無いかを確認する吸着性能試験とを行うことによって進める。試験体を設置した窯に隣接する窯の稼働状況が影響したり、同じ条件でも短縮時間に大幅な差異が生ずる可能性があるため、次の6回の状態で試験を行うこととした。

- 第1回試験 通水しないで試験体設置予定窯のみ稼働 (これまでの冷却方式)
- 第2回試験 通水して試験体設置窯のみ稼働
- 第3回試験 通水して試験体設置窯と隣接窯1基を稼働
- 第4回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼働

第5回試験 通水して試験体設置窯のみ稼動（第2回と同条件で再度）

第6回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼動（第4回と同条件で再度）

冷却性能試験は、炭が生成された後に燃焼を停止して窯が密閉された時点を出発点とし、炭の取り出しが可能となる内部温度 50℃に達した時点を終点として、その間の温度変化を測定することによって実施する。6回の試験全てにおいて2時間ごとに測定・記録を行う。製炭工程全体では、炭窯に原木を投入して焼成を開始した後、概ね84時間経過した段階で炭が生成され、この時点で炭窯を完全密閉して冷却を開始することになるが、この段階までは冷却の必要がないため、試験調査時間の節約上、測定対象としないこととした。

吸着性能試験は、これまでにない急速な冷却によって、炭が持つ有害化学物質の吸着特性に変化がないかを確認するために行う。今回の設備による冷却では何ら変化はないものと想定しているが、炭ボードの商品価値を大きく左右する能力であるため、慎重を期す意味からもこの試験は欠かせない。試験方法としては、急速に冷却する第2回試験から第6回試験までに生成された炭それぞれについて、ホルムアルデヒドとトルエンの吸着性能試験を行うこととする。また急速な冷却によって生成された炭との性能比較を行うため、これまでの方法で生成された第1回試験の炭についてもホルムアルデヒドとトルエンの吸着性能を試験する。この試験は検知管方式とし、容量10リットルのテドラーバッグに一定量の有害化学物質と約1立方センチメートルの炭3個を投入し、密封して検知管を差し込んで、1時間ごとの濃度を測定することによって実施する。3個の炭を投入するのは、炭の吸着能力には僅かながらも固体差があるため、3個程度を使うことによってその差を埋めるために行う。

なお炭窯内部をより高温にする必要性と、有害化学物質の吸着性能を見る必要性から、6回とも全て高温炭を生成することとする。

4. 試験調査の日程

全体の期間は平成15年4月から平成15年10月まで。

実施日程は次のとおり。（いずれも平成15年）

①4月：計画

②5月：井戸掘削適地調査、井戸及び導水設備検討、第1回試験調査委員会、井戸掘削

③6月：導水設備再検討、第1回試験、揚水設備及び配管

④7月：導水設備完了調査、第2回試験

⑤8月：第3回試験、第4回試験、第2回試験調査委員会

⑥9月：第5回試験、第6回試験、試験結果の整理

⑦10月：第3回試験調査委員会、報告書作成

5. 試験調査の結果

6 回の試験調査の結果を以下に記述するが、スタート時点温度は 813℃～838℃と最大で 25℃の差がある。これは冷却開始時点における炭窯内部の状態により、密閉時点では一定の温度が得られないことが原因であるが、500℃以上の段階では冷却速度が速く、優位差はほとんど無いため特に問題はない。

5.1 第 1 回試験 通水しないで試験体設置予定窯のみ稼動（これまでの冷却方式）

この試験は、まず最初に冷却設備が無いこれまでの状態での温度変化を確認するために行う。隣接する窯に影響されないよう、導水設備を施す予定の 3 号窯のみ稼動させて試験を行った。

5.1.1 冷却性能試験

第 1 回試験の温度変化の状況は次ページの表 1 のとおりである。これをグラフに現わしたものが図 2 である。

測定開始時点は 832℃であったが、最初の 2 時間で 581℃まで一気に下がり、24 時間経過時点で 249℃まで下がる。その後の 4 時間は 253℃まで 4℃上昇しているが、これは窯内部に蓄積された可燃性ガスが一時的に燻り状態になったためである。

表 1 第 1 回試験の温度変化（単位：℃）

1 日目 開始 832	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	581	509	466	433	404	381	360	342	321	294	272	249
2 日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	250	253	251	244	237	231	224	218	211	205	200	195
3 日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	190	185	181	177	172	168	163	158	153	149	128	124
4 日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	119	123	122	124	123	123	123	121	120	118	117	115
5 日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	115	113	112	111	109	107	106	105	103	102	100	99
6 日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	98	97	96	96	94	93	92	91	89	88	86	85
7 日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	84	84	84	83	82	81	80	77	74	70	68	63
8 日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	58	59	57	57	56	59	62	62	62	61	60	59
9 日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	61	63	64	64	65	64	63	61	59	58	56	55
10 日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	55	57	58	57	57	56	55	53	53	52	52	52
11 日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	51	50	50	49	49	48	48	48	47	47	47	47

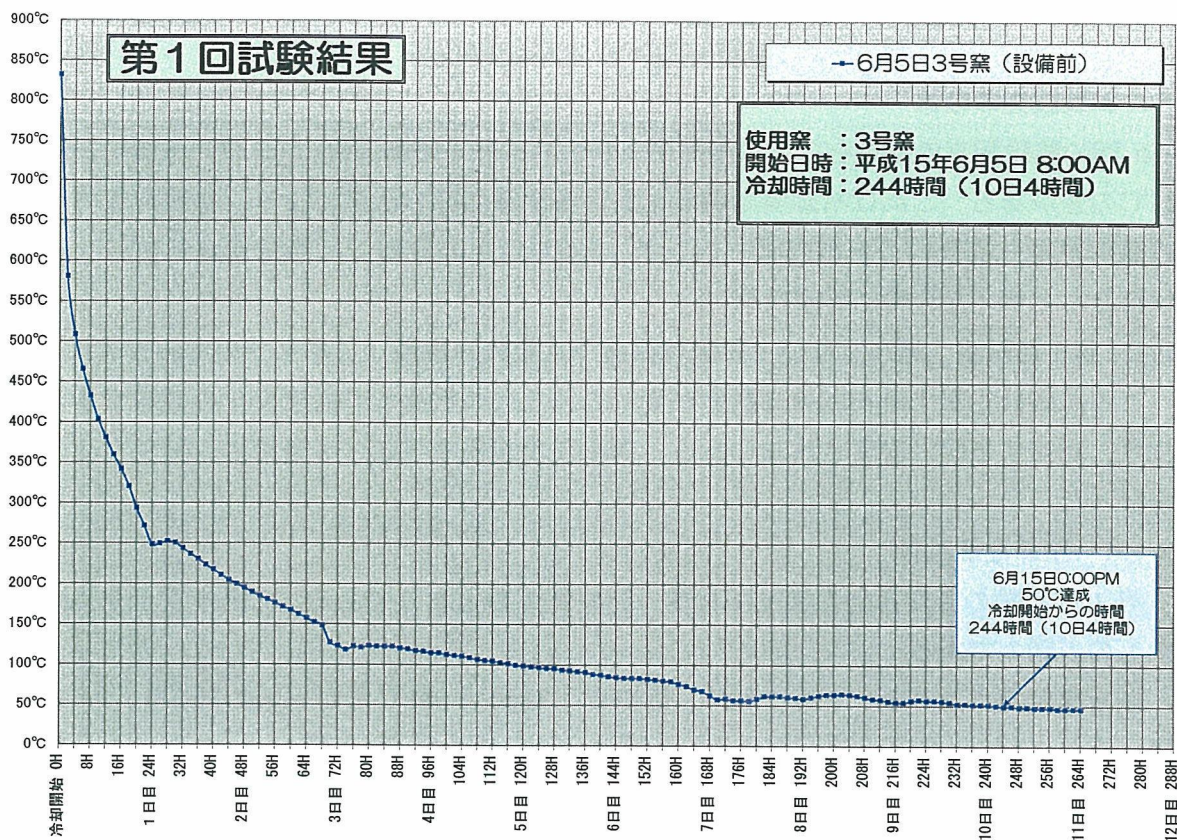


図 2 第 1 回試験の温度変化グラフ

その後 68 時間経過時点までほぼ均一に 149°C まで下がった後、次の 2 時間で 21°C 一気に下がって 128°C となっている。この時の日時は 6 月 8 日午前 4 時から午前 6 時であるが、測定を行っていた研究員によると、炭窯には全く変化はなかったが一時的に降雨があったとのことであったため、窯場のある山梨県都留市付近のこの頃の天気を調べてみると、この時間帯には低気圧が通過して一時的に気温が下がったことになっている。このことから外気がある程度急激に下がったため、炭窯も外気によって冷やされたものと考えられる。自然冷却では寧ろ普通の変化であると言える。その後は 168 時間 (7 日) 経過時点まで、それ以前より低下速度は緩やかながら均一に下がりつづけて 63°C となった。この時点を超えて温度低下速度が極端に鈍くなり、この後 76 時間かけて 13°C 低下という状態となった。

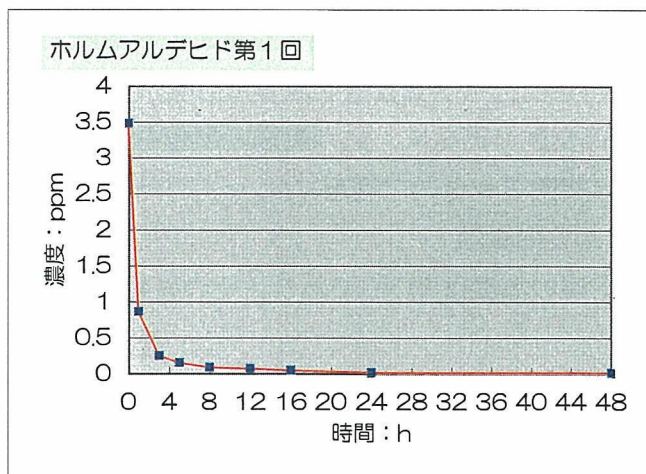
この結果、244 時間経過時点で 50°C に到達し、冷却開始から 10 日と 4 時間を費やして冷却が終了した。試験開始以前の原木投入から炭生成までに約 84 時間かかっていることから、製炭工程全体では約 328 時間であり 13 日と 16 時間かかったことになる。この試験の結果を、この後の水冷による冷却試験の比較対象とする。

5.1.2 吸着性能試験

第 1 回試験により生成された炭の吸着試験結果は、次ページ表 2 のとおりである。

まず上段のホルムアルデヒドについて、一般の居住空間では有り得ない 3.48ppm という高い濃度でスタートした。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第1回
0	3.48
1	0.86
3	0.25
5	0.15
8	0.09
12	0.07
16	0.05
24	0.02
48	0.013



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第1回
0	75
1	40
3	22
5	10
8	3.1
12	1.05
16	0.06
24	0.01
48	0.01

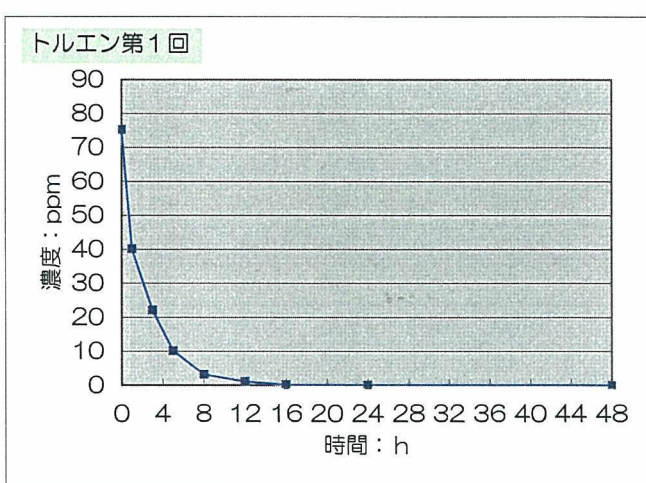


表2 第1回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

最初の1時間で0.86ppmまで一気に低下し、その後緩やかに低下を続け8時間後には、厚生労働省が示す室内濃度指針値0.08ppmに近い0.09ppmまで下がっている。24時間経過時点では実際の居住でも全く気にならない程度の0.02ppmまで減少した。

次に下段のトルエンについて見てみると、投入量はやはり一般居住空間では考えられない75ppmである。これが12時間後には1.05ppmまで下がり、16時間で厚生労働省指針値0.07ppmをクリアする0.06ppmとなっている。24時間後には0.01ppmまで下がり、その後時間が経っても濃度が変化しないが、これは測定下限以下まで濃度が下がっていることによる現象であり、ほとんど濃度ゼロの状態とも言える。

これらの結果は、これまで行って来た同種の高温炭による吸着実験結果と完全に同じ状態を示しており、この後5回行う急速な冷却で生成された炭がどのような吸着特性を示すかの試験において、確実な比較データを得ることができた。また改めて高温炭の有害化学物質吸着能力が目に見えて実感できた。

5.2 第2回試験 通水して試験体設置窯のみ稼動

第2回試験は、導水管設備を施した炭窯に実際に通水して冷却性能を試験するものである。第1回試験と同様に、他の炭窯の影響を受けない状態で単体の特性を調べるため、両隣の炭窯は稼動させないで実施した。

5.2.1 冷却性能試験

スタート時の温度は813℃であり、その後の経過を表3及び図3に示す。

表3 第2回試験の温度変化（単位：℃）

1日目	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
開始 813	535	465	418	382	353	329	309	292	276	260	247	234
2日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	223	213	204	195	187	180	172	163	156	148	143	137
3日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	130	125	120	115	112	108	106	101	99	97	94	92
4日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	899	87	84	82	81	79	77	75	72	70	70	68
5日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	665	64	65	64	63	61	58	57	55	53	52	50
6日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	50	50	50	50	49	49	49	49	48	48	48	48
7日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	48	48	48	47	47	47	47	47	46	46	46	46
8日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	46	46	46	46	45	45	45	45	45	45	45	45
9日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	44	44	44	44	44	43	43	43	43	43	43	42
10日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	42	42	42	42	41	41	41	41	41	41	40	40
11日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38	38	37

スタートから2時間後には535℃まで下がっているが、冷却していない第1回試験ではスタート時832℃、2時間後581℃であったため、差し引き27℃しか差がない。前述のとおり、500℃以上の段階では炭窯がどのような状態でも冷却速度が速く、優位差はほとんど無いことを裏付けている。その後22時間で247℃まで低下した後、冷却速度が徐々に緩やかになる。この時点で第1回試験と比べ約2時間早まっているが、冷却設備を施した効果が現れているとは言い難い状態である。

しかし、ここを境に第1回試験よりも顕著に温度低下が見られるようになる。100℃を切るまでに66時間を要しているが、第1回試験よりも54時間早まっており、その後徐々に冷却速度は落ちながらも120時間で50℃を達成した。第1回試験では170時間経過後の

58℃辺りからなかなか温度が下がらず横這い状態であったが、水冷によって 50℃まで順調に低下できることがはっきりと現れた結果となった。今回の試験調査の目的においてはここまでとなるが、参考までにこの後の変化を見てみると、50℃まで下がった時点から温度低下速度は急速に横這い状態となり、10℃下がるのに 5 日を要している。この温度レベルになると、炭窯の構造物である被覆コンクリートと耐火レンガの持つ断熱性により、自然冷却も水冷方式も差異がなくなることがわかる。

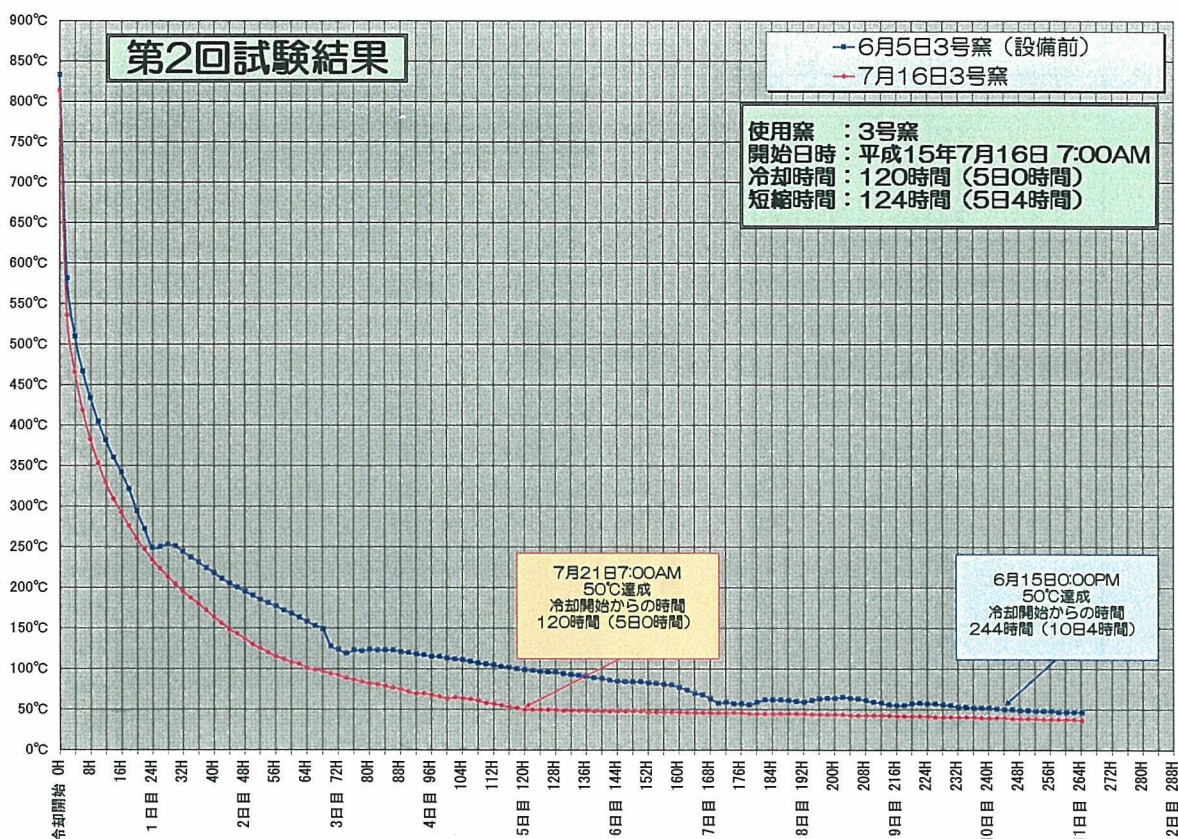


図3 第2回試験の温度変化グラフ

以上の結果を整理すると、第1回試験と比較し124時間の短縮となり、日数にして5日と4時間の短縮となった。当初の短縮目標は4日と設定していたが、最初の冷却試験で既に目標を達成できたことになる。

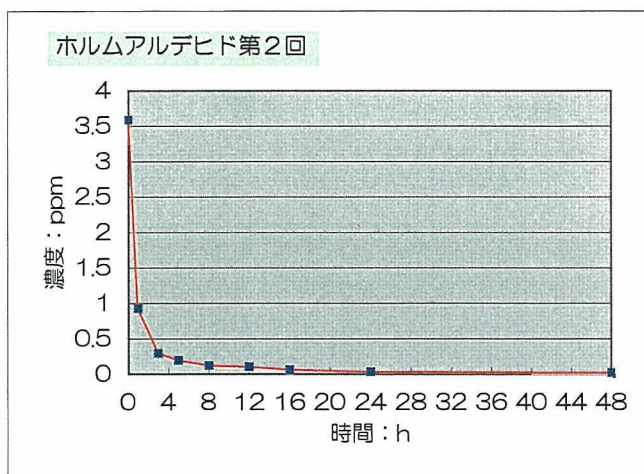
5.2.2 吸着性能試験

第2回試験で生成された炭による有害化学物質の吸着試験結果は表4のとおりである。

今回のホルムアルデヒドは3.58ppmの濃度でスタートしたが、低減特性は前回と全く同じ状態を示した。この結果、ホルムアルデヒドの吸着能力には全く変化がないことがわかる。またトルエンについても前回と同じく75ppmから開始したが、ホルムアルデヒド同様、前回試験と変わるところはなかった。いずれの有害化学物質も16時間経過後には厚生労働省指針値程度まで低下し、24時間経過すると、ほとんど存在しない状態にまで減少して

いる。特にトルエンは測定下限以下であり、完全に無くなっている可能性もある。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第2回
0	3.58
1	0.92
3	0.29
5	0.19
8	0.12
12	0.1
16	0.06
24	0.026
48	0.015



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第2回
0	75
1	43
3	20
5	12
8	3.3
12	0.9
16	0.08
24	0.01
48	0.01

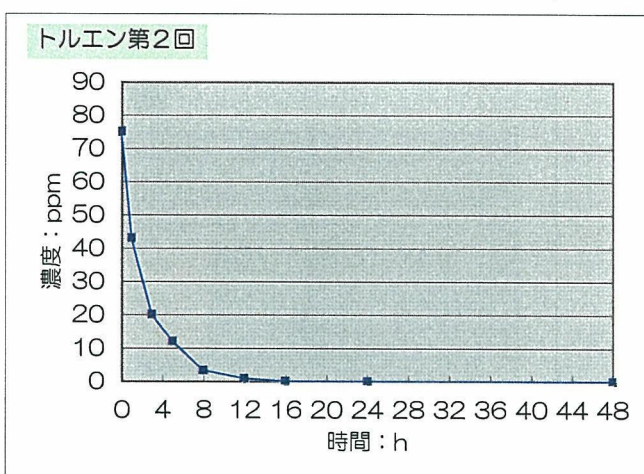


表 4 第 2 回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

この結果、水冷によって急速に冷却した炭でも、自然冷却した炭と比べ有害化学物質の吸着特性には全く変化がないことが確認できた。当初の予想どおりとは言え、炭ボードの商品価値に影響がないことが確認できたことは貴重な結果であると言える。

5.3 第 3 回試験 通水して試験体設置窯と隣接窯 1 基を稼動

第 3 回試験は、試験体設置窯は第 2 回と同じ状態とし、この窯の右側に 600mm の間隔を置いて隣接する 2 号窯を稼動させた状態で測定するものである。2 号窯の稼動は、試験体設置窯の冷却が始まる時点で燃焼開始させ、概ね 84 時間遅れで稼動している状態とする。2 号窯は、試験体設置窯が冷却を開始してから 2 日目頃に最高温度に達し、その後自然冷却させる。

5.3.1 冷却性能試験

第3回試験の冷却の状況は表5及び図4のとおりとなった。

823℃でスタートしたが、250℃を下回るまでに第1回試験と同様24時間かかっている。500℃辺りからここまでは第1回試験時よりも平均して4時間早く温度低下していたが、低下速度が緩やかになる度合いが第1回試験よりも早く、250℃付近ではほぼ一致してしまっている。しかし第1回試験ではここから急速に冷却速度が低下しているが、今回はそのままの冷却速度の低下度合いを維持しているため、46時間経過時点では56℃の差となって現れている。この46時間経過した時点で隣接窯が最高温度に到達したため、試験体設置窯の冷却が止まって1℃上昇し、その直後の6時間は横這い状態となる。その後はほぼ一定の冷却速度を保ちながら、132時間が経過した5日と12時間後に50℃を達成している。

この結果を整理すると、自然冷却による第1回試験よりも112時間(4日16時間)の短縮ができたが、隣接窯を稼働させない第2回試験よりも12時間遅くなっている。やはり隣接窯の影響は避けられないことがわかるが、それでも目標の4日を半日以上も上回る結果が出たことは予想していなかった成果である。

表5 第3回試験の温度変化(単位:℃)

1日目 開始 823	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	510	450	409	377	351	329	311	294	279	266	254	243
2日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	234	224	216	207	199	190	181	172	159	148	144	145
3日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	145	144	141	137	134	129	125	121	118	114	111	108
4日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	105	102	99	97	96	93	90	87	85	83	81	79
5日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	775	75	73	71	70	67	65	63	62	61	59	58
6日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	56	55	54	52	51	50	49	48	48	48	47	47
7日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	46	46	46	46	45	44	44	44	44	44	44	43
8日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	42
9日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	41	41
10日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	41	41	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40
11日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	40	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39	38

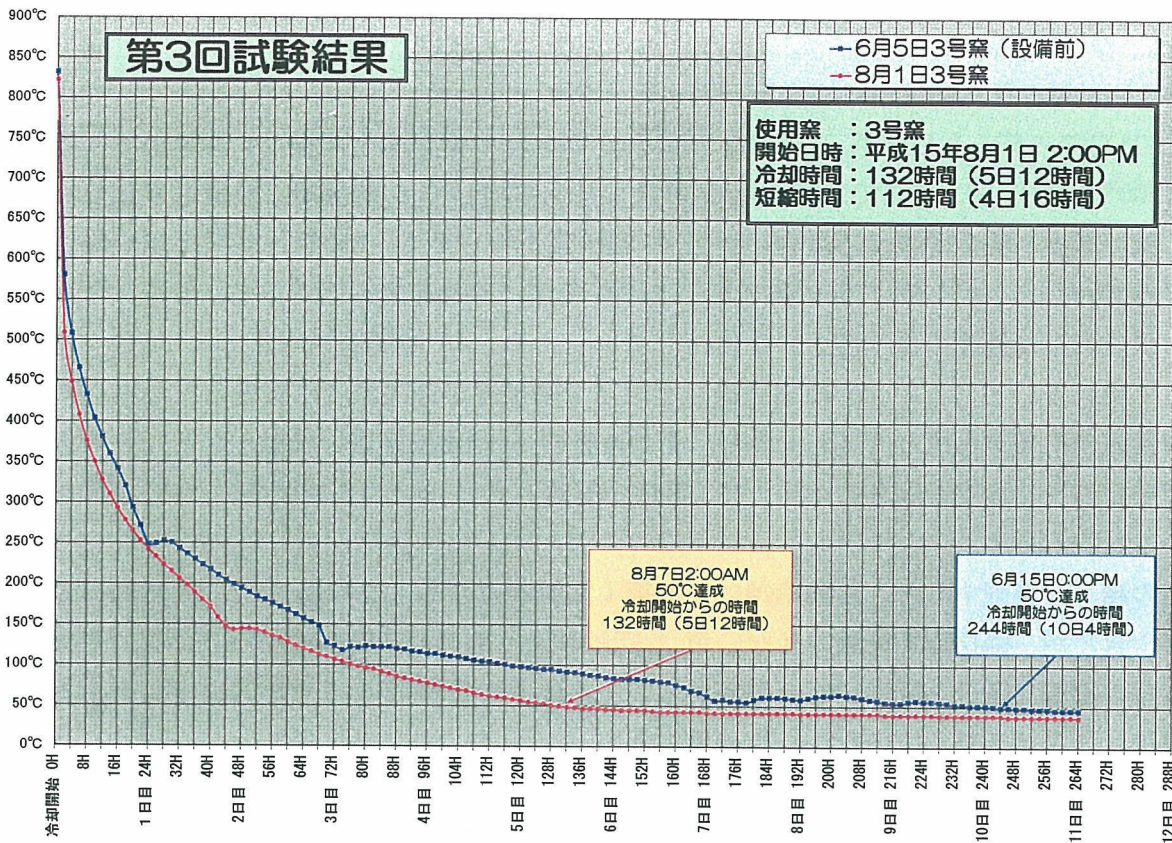


図4 第3回試験の温度変化グラフ

5.3.2 吸着性能試験

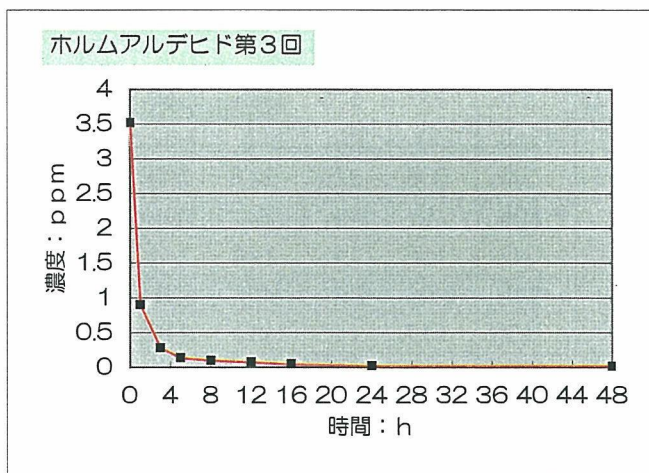
第3回試験で生成された炭による吸着試験結果は、次ページの表6のとおりとなった。

前回の第2回試験同様に、ホルムアルデヒドもトルエンも、自然冷却した炭と全く変わらない吸着特性を示すことがわかる。ホルムアルデヒドは3.52ppmで開始しているが、12時間後には更生労働省指針値の0.08ppmまで下がり、これまでの2回の吸着試験より低減能力は高まっているように見える。しかしこの程度の差では冷却によって吸着能力がアップしたとは言えず、炭の個体差によるものであると考える。

トルエンは過去2回の試験よりも高い80ppmでスタートしたが、こちらはスタート濃度に比例して低減時間1~2時間遅くなっているが、24時間経過後は測定下限以下にまで低減した。

これらの結果は、第2回試験により急速冷却による吸着性能への影響はないことが確認できた段階で予想していたことではあるが、商品の能力を確実なものとするため、またユーザーに信頼される商品とするために欠かすことができない試験として行ったものである。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第3回
0	3.52
1	0.9
3	0.28
5	0.14
8	0.1
12	0.08
16	0.05
24	0.024
48	0.018



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第3回
0	80
1	45
3	25
5	10
8	3.2
12	1.2
16	0.09
24	0.01
48	0.01

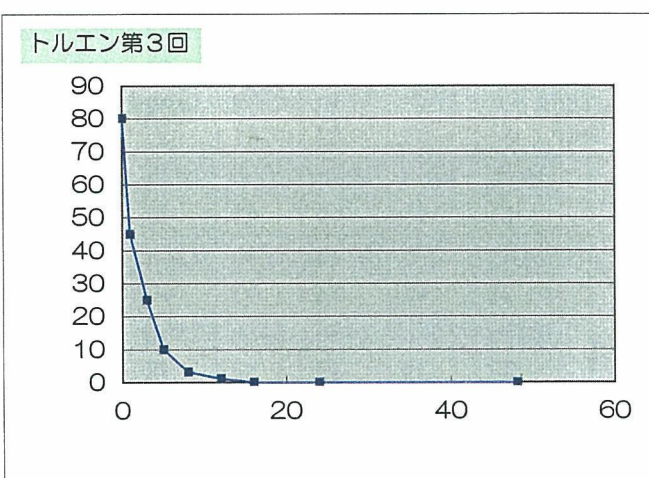


表6 第3回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

5.4 第4回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼動

第4回試験は、試験体設置窯の両隣にある炭窯を稼動させての温度変化を測定するものである。5回の冷却試験中で最も効率が悪くなると思われる状態での試験になるが、実際の製炭作業では全ての窯が何らかの状態稼動しているため、この試験で設定する状態は最も実用的な条件と言える。試験体設置窯の右隣にある2号窯は、試験体設置窯とほぼ同時に稼動させることとし、左隣の4号窯は試験体設置窯の冷却開始時点より2.5日遅く燃焼開始させ、概ね60時間遅れ稼動の状態として実施した。

5.4.1 冷却性能試験

第4回試験の温度変化状況は、次ページに示す表7及び図5のグラフのとおりとなった。

823℃からスタートしたが、過去2回の水冷試験と異なり、24時間経過しても250℃を下回らず、自然冷却の第1回試験よりも7℃高くなっている。第1回試験のスタート温度が832℃であったことを考慮すると16℃の遅れということになる。やはりほぼ同時に稼動している隣の窯の影響を大きく受けていることがわかる。

表7 第4回試験の温度変化（単位：℃）

1日目 開始 823	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	526	457	416	385	360	341	323	306	292	279	267	256
2日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	246	236	226	217	209	202	196	190	184	178	172	167
3日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	160	156	152	146	142	138	132	128	122	121	121	121
4日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	120	117	115	113	110	107	105	102	100	98	97	95
5日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	92	90	89	87	85	82	81	79	77	75	74	72
6日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	72	70	69	67	66	63	61	59	54	50	49	48
7日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	47	46	45	42	44	45	44	44	44	44	43	44
8日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	43	43	42	41	40	42	42	43	43	44	44	45
9日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	43	43	44	45	45	45	45	45	46	45	45	45
10日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	44	43	43	43	42	42	40	40	39	38	39	40
11日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	39	39	39	38	38	37	37	36	36	36	35	35

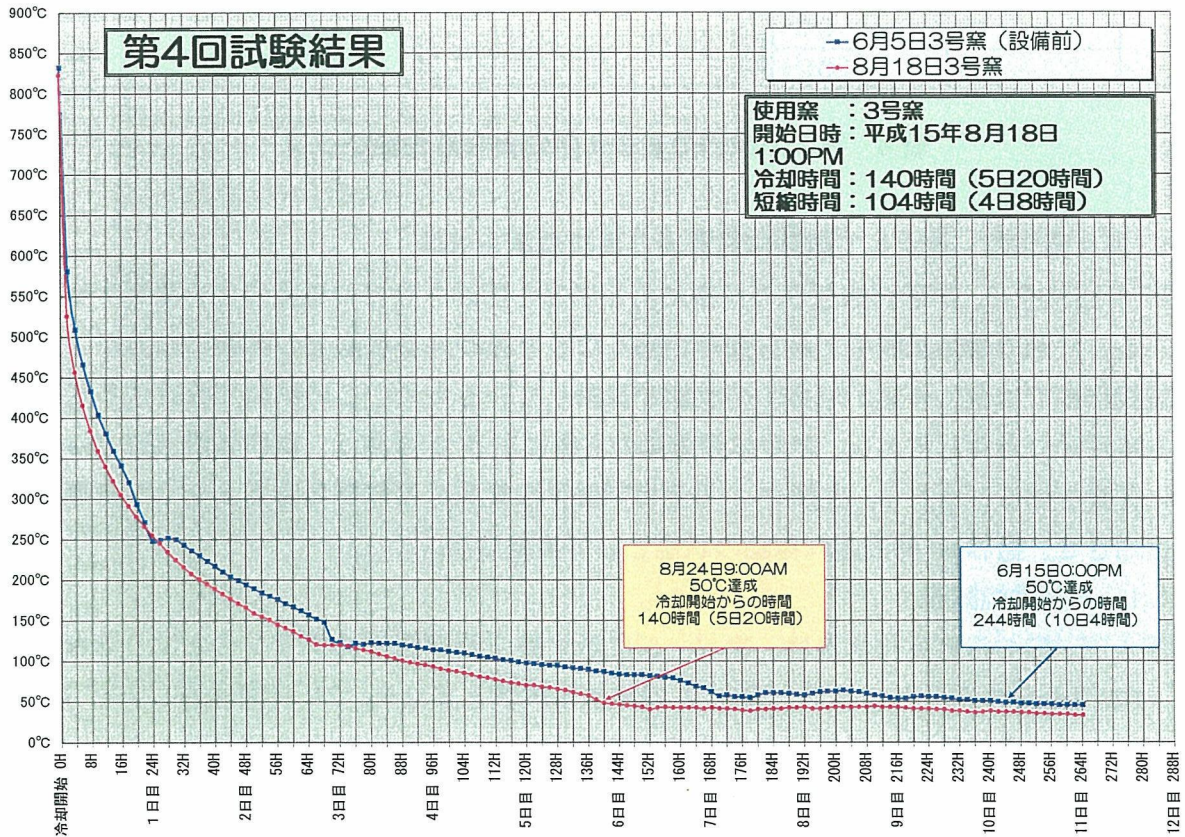


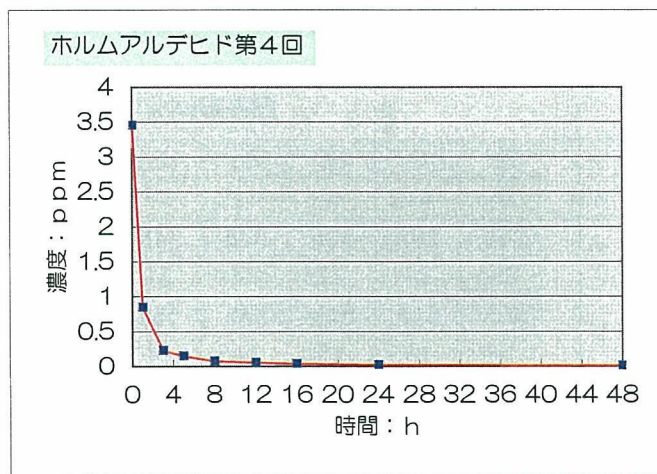
図5 第4回試験の温度変化グラフ

その後はこれまでとほぼ同様の冷却速度を維持しながら、自然冷却よりも速く冷却が進むが、左隣の4号窯が最高温度に達した65時間経過時点になると、冷却が停止しその後8時間もの間横這い状態となる。この時点で再び自然冷却時と同じ程度の120℃になってしまっているが、両隣の窯が最高温度から脱した後は、再び自然冷却よりも速い一定の冷却速度で温度低下を続け、140時間経過時点の5日と20時間後に50℃に到達した。この結果を整理すると、自然冷却よりも104時間（4日8時間）の短縮となるが、両隣の窯を稼働させない第2回試験に比較すると20時間の遅れとなり、1日近い差が出ることになる。しかし、この最も冷却効率が悪い稼働状態にあっても、当初目標の4日を8時間も早くクリアできたことは特筆すべき成果であり、この試験調査全体の目的が達成できる大きな原動力となった。

5.4.2 吸着性能試験

第4回試験で生成された炭による吸着試験結果は表8のとおりである。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第4回
0	3.45
1	0.85
3	0.23
5	0.15
8	0.08
12	0.06
16	0.04
24	0.022
48	0.015



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第4回
0	78
1	42
3	22
5	11
8	3.2
12	1.1
16	0.07
24	0.01
48	0.01

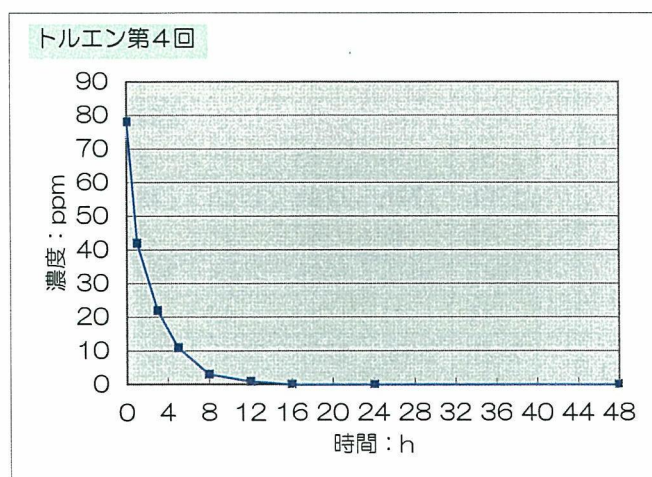


表8 第4回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

ホルムアルデヒドは濃度 3.45ppm で開始し、8 時間後には厚生労働省指針値と同じ 0.08ppm まで低下している。その後も順調に濃度が下がり、過去 3 回の試験同様に 24 時間後にはほとんど無くなっている状態となった。

トルエンは濃度 78ppm でスタートしているが、前回及び前々回以上の早さで低下し、16 時間後には厚生労働省指針値と同じ 0.07ppm まで下がっている。またこれまでの結果と同じく、24 時間後には測定下限以下まで低下した。

これらの結果は前回試験までの結果と同様、自然冷却で生成された炭と何ら変わらないことを裏付けるものとなった。

5.5 第 5 回試験 通水して試験体設置窯のみ稼動（第 2 回と同条件で再度）

第 5 回試験は、第 2 回試験と全く同じ条件で、試験体設置窯のみ稼動させての試験である。同一条件下でも異なる冷却特性が発生するかどうかを調べるために行った。

5.5.1 冷却性能試験

第 5 回試験による温度変化は表 9 及び図 6 のとおりである。

表 9 第 5 回試験の温度変化（単位：℃）

1 日目 開始 838	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	561	492	448	413	375	340	319	301	285	269	255	244
2 日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	235	231	225	221	215	207	199	192	185	179	172	167
3 日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	161	155	150	145	140	135	131	127	123	119	116	112
4 日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	109	106	102	100	97	94	91	88	85	83	82	80
5 日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	78	76	73	71	69	66	64	62	60	57	56	54
6 日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	52	50	50	48	46	44	42	44	43	41	40	39
7 日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	37	36	35	37	36	39	38	36	40	42	43	42
8 日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	42	42	42	41	39	37	40	39	39	40	41	41
9 日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	41	41	43	42	41	41	41	41	38	39	39	39
10 日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	39	40	40	41	41	40	41	42	42	42	41	41
11 日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	41	40	40	39	39	38	38	38	37	37	37	37

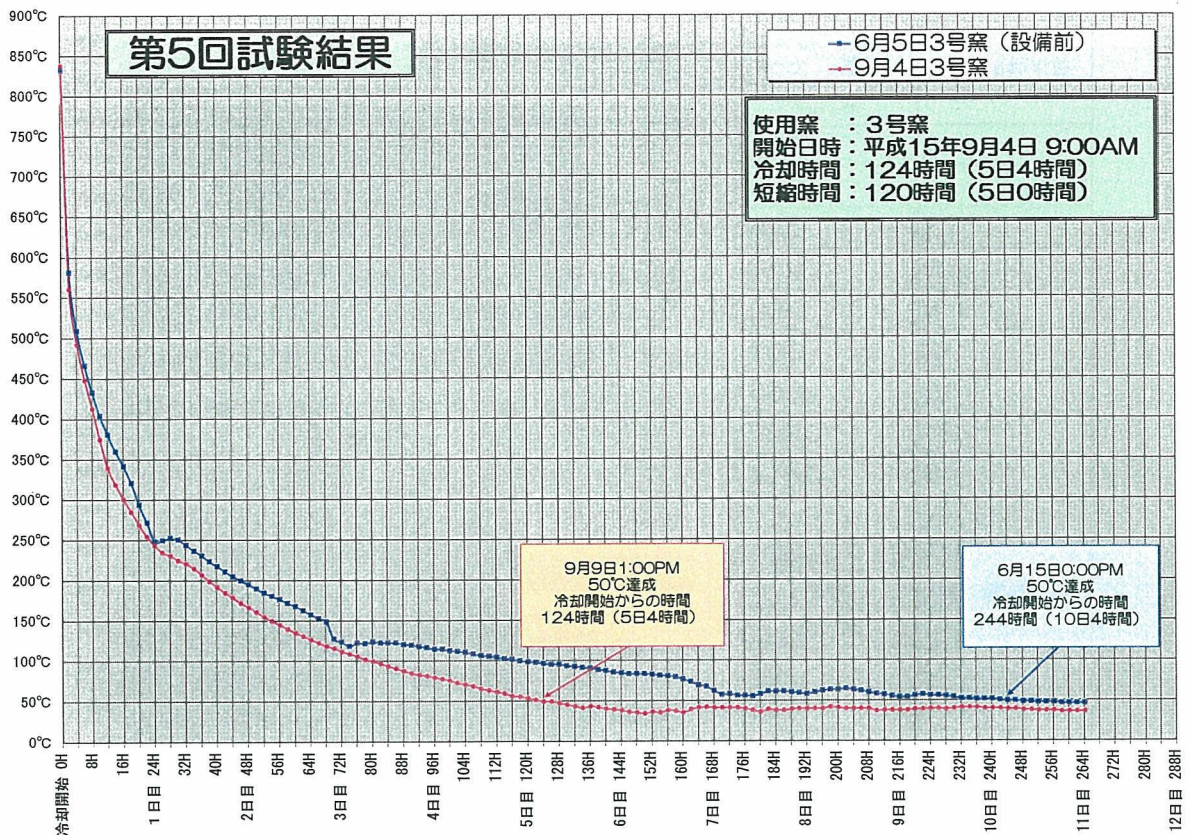


図6 第5回試験の温度変化グラフ

今回の試験のスタート温度は6回中最も高い838°Cであり、同一条件の第2回試験よりも25°C高い温度で始まった。24時間経過段階で244°Cとなり、第2回試験に比べて10°C高い程度にまで追いついており、自然冷却と比較しても5°C先行している。その後特に際立った変化はなく順調に温度低下し、124時間で50°Cに到達した。スタート温度が最も高かったものの終了時間は2番目に早い5日と4時間となっている。

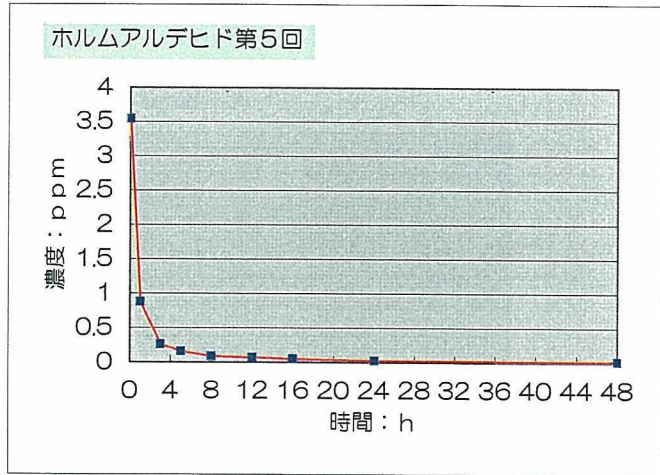
結果を整理すると、自然冷却と比較して120時間の短縮であり、5日ちょうど早く冷却できたことになる。同一条件で行った第2回試験との比較では4時間の遅れがあるが、スタート時点で25°Cの差があったことを考慮すると、両方の試験結果にはほとんど差異がないと言え、同一条件下では冷却性能に全く違いが無いことが確認できた。この結果、試験体設置窯のみ稼動での冷却は約120時間であり、5日ちょうどでの冷却時間で済むことが判明した。

5.5.2 吸着性能試験

第5回試験で生成された炭での吸着性能試験の結果は表10のとおりである。

ホルムアルデヒド濃度3.54ppm、トルエン濃度83ppmで開始したが、これまでと全く同様の濃度低下状態を示している。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第5回
0	3.54
1	0.88
3	0.26
5	0.16
8	0.09
12	0.07
16	0.05
24	0.025
48	0.014



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第5回
0	83
1	45
3	25
5	12
8	3.5
12	1.2
16	0.09
24	0.01
48	0.01

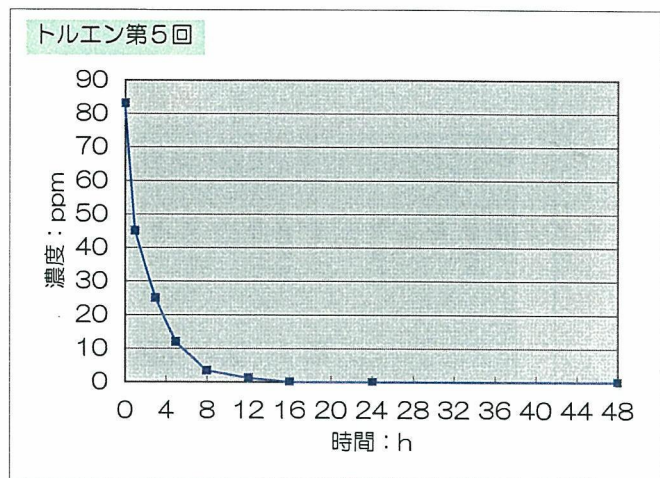


表 10 第 5 回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

5.6 第 6 回試験 通水して試験体設置窯と両隣の窯を稼動（第 4 回と同条件で再度）

今回の試験は、第 4 回試験と同一条件の両隣の窯を稼動させての試験である。同一条件とするため、右隣の 2 号窯は試験体設置窯と同時に稼動させ、左隣の 4 号窯を 2.5 日遅く燃焼開始させて概ね 60 時間遅れ稼動で実施した。

5.6.1 冷却性能試験

第 6 回試験の温度変化状況は、表 11 及び図 7 のとおりとなっている。

今回は 817℃からスタートしており、同一条件稼動の第 4 回試験よりも 6℃低い、全く同じ条件とも言える。24 時間後は 245℃で、第 4 回試験よりも早く 250℃を下回っているが、自然冷却の第 1 回試験との比較では僅か 4℃の先行であり、やはり両隣の窯の影響を受けていることがわかる。その後も一定の冷却速度を保ちながら順調に低下し、第 4 回試験と同様に、左隣の 4 号窯が最高温度に到達した 66 時間経過段階で冷却が止まっている。そして 74 時間経過時点から再び冷却が始まり、若干の変動はあるもののほぼ一貫した速度で冷却が進み、136 時間（5 日と 16 時間）で 50℃に至った。

表 11 第 6 回試験の温度変化 (単位 : °C)

1 日目 開始 817	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	22h	24h
	591	507	457	420	391	366	329	310	294	271	257	245
2 日目	26h	28h	30h	32h	34h	36h	38h	40h	42h	44h	46h	48h
	231	223	214	206	195	187	180	173	166	159	153	148
3 日目	50h	52h	54h	56h	58h	60h	62h	64h	66h	68h	70h	72h
	143	138	133	130	126	123	119	115	110	110	109	109
4 日目	74h	76h	78h	80h	82h	84h	86h	88h	90h	92h	94h	96h
	105	100	95	91	89	86	83	81	79	77	75	73
5 日目	98h	100h	102h	104h	106h	108h	110h	112h	114h	116h	118h	120h
	72	71	70	69	68	68	68	65	63	60	57	57
6 日目	122h	124h	126h	128h	130h	132h	134h	136h	138h	140h	142h	144h
	57	56	55	55	54	52	51	50	48	47	47	46
7 日目	146h	148h	150h	152h	154h	156h	158h	160h	162h	164h	166h	168h
	46	46	45	45	45	44	43	46	45	44	43	43
8 日目	170h	172h	174h	176h	178h	180h	182h	184h	186h	188h	190h	192h
	42	41	41	41	43	43	42	42	41	41	40	39
9 日目	194h	196h	198h	200h	202h	204h	206h	208h	210h	212h	214h	216h
	39	39	38	38	38	37	37	36	36	38	37	37
10 日目	218h	220h	222h	224h	226h	228h	230h	232h	234h	236h	238h	240h
	40	40	39	39	39	38	38	37	37	36	37	37
11 日目	242h	244h	246h	248h	250h	252h	254h	256h	258h	260h	262h	264h
	38	38	38	39	39	38	37	37	38	38	39	37

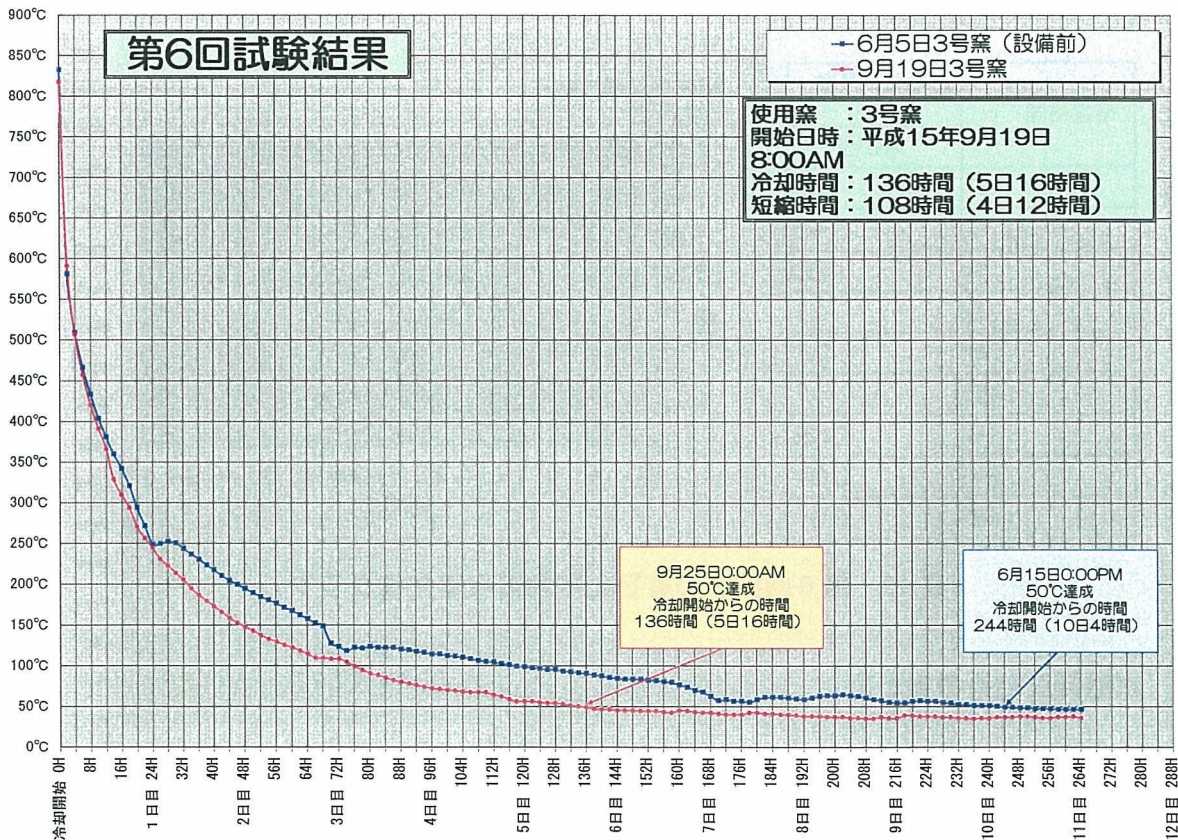


図 7 第 6 回試験の温度変化グラフ

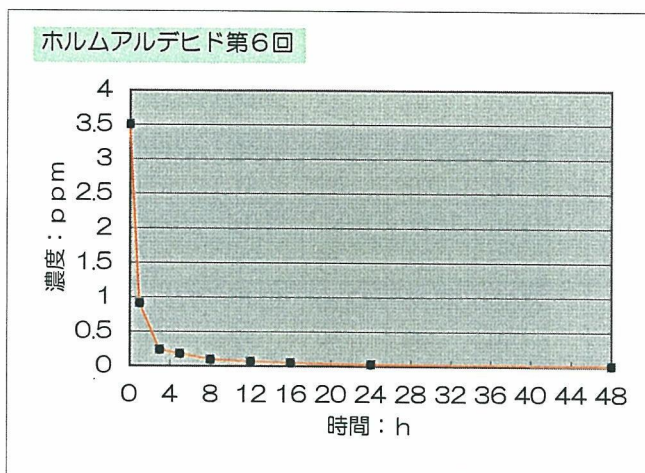
この結果をまとめると、自然冷却よりも 108 時間の短縮であり、日数にすると 4 日 12 時間の短縮となっている。同一条件の第 4 回試験結果に比べると 4 時間早くなっているが、両方の結果から言えることは、両隣の窯が稼動しているという実用的な条件下でも 4.5 日程度の短縮が可能であり、目標としていた 4 日短縮を十分に達成できたことになる。

5.6.2 吸着性能試験

第 6 回試験で生成された炭による吸着性能試験の結果を表 12 に示す。

ホルムアルデヒド濃度 3.5ppm、トルエン濃度 75ppm で開始し、前回までの 5 回の試験結果と変わることなく有害化学物質が低減できている。

経過時間：h	ホルムアルデヒド濃度：ppm
	第6回
0	3.5
1	0.91
3	0.24
5	0.18
8	0.1
12	0.07
16	0.05
24	0.026
48	0.015



経過時間：h	トルエン濃度：ppm
	第6回
0	75
1	40
3	20
5	11
8	3.1
12	1
16	0.08
24	0.01
48	0.01

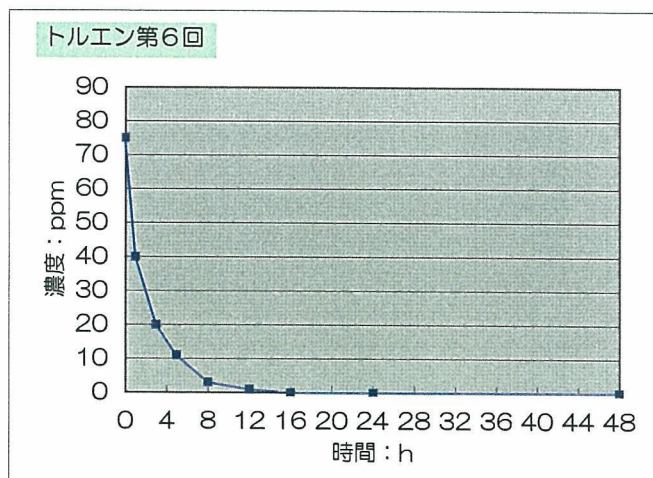


表 12 第 6 回試験の有害化学物質吸着性能グラフ

5.7 試験調査結果のまとめ

6 回の試験調査の結果を整理すると次のとおりとなる。

- ①平均短縮時間は 113 時間 36 分であり、約 4 日 17 時間の短縮が可能となった。
- ②最短は試験体設置窯のみ稼動の場合であるが、124 時間=5 日 4 時間も短縮となる。

- ③試験体設置窯の両隣の窯が稼動している場合が最長となるが、この場合でも 104 時間＝4 日と 8 時間短縮することができる。
- ④同一条件で周囲の炭窯が稼動している場合でも冷却能力に大きな違いはなく、安定した冷却が行える。
- ⑤上記①から④までの結果から、目標としていた 4 日短縮をクリアして、ほぼ 4.5 日の短縮が可能となった。
- ⑥急速に冷却された炭でも、有害化学物質の吸着能力は自然冷却で生成された炭と何ら変化がない。

6. 事業化の見通し

前述の調査試験の結果のとおり、炭の品質に全く変化がなく 4.5 日の短縮が可能となったことは、12 日前後かかっていた製炭工程が 7.5 日に短縮できたこととなり、1 カ月に確実に 4 サイクル稼動が可能となったことを意味し、1 窯 1 カ月当り炭製造量が 2 倍となる。この結果を受けて、事業化の見通しを次のように考える。

6.1 成果の直接的活用に関して

1 カ月 4 サイクル稼動が可能となると、飛躍的に炭ボードの製造効率が向上する。既存の炭ボード製造ラインは月産 3 万枚まで可能であるが、現在、炭の製造が追いつかないため月産 1 万枚以下を余儀なくされている。今回の試験調査によって得られた冷却方式を全ての窯に設備することにより、炭の製造量はこれまでの 2 倍となって単純計算で月産 2 万枚までの製造が可能となり量産化が実現できる。

また炭及び炭ボードの製造量が 2 倍になれば、必然的に原木調達も 2 倍必要となる。現在の原木調達の中心は近隣のマツクイムシ被害木であるが、この害虫被害の拡大を防ぐためには早急な伐採と処分が求められているものの、当社の調達以外に使い道はなく、伐採が進まないばかりか、切り倒されても現地に薬品処理して放置されているのが実情である。今回の試験調査結果による炭窯整備を行えば、これらの樹木がこれまでより早急な受入れが可能となるため、近隣のマツクイムシ被害の拡大防止の一助となることが約束できる。さらに長期的には、マツクイムシ被害木の伐採が一段落した後も、これまで以上に間伐材や廃木材の受入れが可能となるため、さらなる森林資源の有効活用が期待できる。またこれに伴って林業の活性化にも貢献できるものと考ええる。

6.2 炭ボード製造コスト低減に関して

炭ボードの製造コストの面では、製炭工程そのものは稼動サイクルが倍加するため低減できる費用はないが、作業手順の見直し等により人員増はほとんど要らないため、この工程に必要な費用が大きく増加することはない。原木調達費用は倍加するものの、基本的には安価で受け入れているため大きなコストアップにはつながらないと考えられる。逆にストック場所の関係からこれまで搬入を待っていただいていた害虫被害木や間伐材なども早期に受け入れ可能となり、当社が目指す林業分野での社会貢献が大きく前進する。また炭

ボードの製造工程全体で見ると、これまで1週間に2日程度あった製造ラインの休止がなくなるため、稼動に伴う光熱水費は増加するものの、人件費や設備などの固定費が効率良く回転することとなり、製造量が倍加しても単価は値上げする必要がないため、炭ボード1枚当りの製造コストは低減できることとなる。

6.3 製炭のアウトソース化に関して

1 カ月 4 サイクル稼動が可能になったことから、製炭工程をアウトソースする場合、次の試算により窯5基を擁すれば製炭だけの事業化の可能性も見えて来た。

- ①高温炭の製炭工程1サイクルで約1tの炭が得られる。
- ②上記を1Kg50円で当社が買い取るとすると、1窯5万円の売り上げとなる。
- ③1カ月に4サイクル稼動させれば、窯1基で月商20万円、窯5基で100万円となる。
- ④製造コストは、次のとおり試算できる。
 - 作業員賃金……窯1基であっても最低2人は必要であるが、5基以内であれば2人で賄えるため、月間総額40万円～50万円と見込む。
 - 原木調達費……地域性に左右されるため正確な試算はできないが、当社の実績では1立方メートルあたり1千円程度が採算ラインである。1窯に14立方メートルの原木が必要なことから、1カ月4サイクルで月間約6万円、窯5基では30万円となる。
 - 運搬車両経費……当社の実績から最低限必要な車両に絞って試算すると、月間8万円程度必要となり、窯1基でも5基でも大きく変化はない。
 - 裁断機経費……電力代が大部分を占め機械の規模にもよるが、当社の実績から窯5基換算で月間3万円程度。
 - その他………点火時のプロパンガス、井戸水揚水ポンプの電気料など、窯5基換算で月間2万円程度。

以上を総合すると、窯5基での製造コストは月額90万円前後となる。

- ⑤上記③④より、原木調達がカギを握るものの、窯5基の設備で製炭のみの事業化も可能性が出て来た。ただし事業化初期において炭窯5基建造費、冷却設備費、原木裁断設備費等、概ね1,500万円程度の費用が必要となるため、この資金の回収を如何にするかを今後検討しなければならない。

6.4 事業化に向けて

以上の3点から、自社の保有する窯全てに今回の調査試験で得られた冷却設備を設置することにより、製造効率の飛躍的向上、1枚当り製造コストの低減、林業面にける社会貢献の前進が実現でき、即時に事業化できるものと確信する。さらに製炭のアウトソースも可能になって来たことから、もうしばらく時間をかけて作業手順、製造原価計算、初期投資回収計画などをパック化して提携先を探すことにより、炭ボードの製造全体において、さらなるコスト低減と工程短縮を図りたい。

7. 今後の対応

7.1 冷却設備の改良

今回の調査試験によって、製炭工程の1サイクルが7.5日前後まで短縮できたが、今後は冷却設備の改良を行って、どの程度までさらなる短縮ができるか研究したい。現在考えている改良方法には次のものがあるが、製炭以外の分野における冷却設備なども参考にしながら新たな方法を考えて行きたい。

①導水管の本数増加

今回採用した形状は、約4mのパイプを水平方向に4段にしたが、このパイプそれぞれの間隔を詰めて8段ないし12段にする方法。この方法は、さらなる短縮が期待できる反面、導水管の加工費用及び設置費用が嵩むことと、安定した水圧が保てるか否かの問題が考えられる。

②導水管と銅板の溶着

今回採用した導水管に、高さ1000mm、奥行き2000mm程度の銅板を溶着させる方式。今回の調査試験で採用した設備では直径30mm銅管の周囲の土が冷やされ、それが窯の外壁と熱交換することにより冷却していたが、この方式で改良を行えば面状に熱交換することになり冷却効率が向上すると考えられる。上記①と比較して費用が低く抑えられほか、水量は今回の調査試験方式と全く同一で済むため、この方式が今後有力な改良方法と考えている。

7.2 全既存窯への冷却設備

前述の事業化の見通しのとおり、出来る限り早期に既存の窯全てに冷却設備を施すことを考えている。今回の調査試験の結果から、1窯当りの設備費用は150万円程度になるため、経営状況と勘案しながら進めて行かなければならないが、この設備により炭ボードの製造量は月産最大2万枚となり、ユーザーへの安定した供給が可能となる。このことから、営業関係要員を始め販売提携先においても、商品供給の不安なく販売活動ができるようになり、より一層の販売促進に結びつくと考えられる。

7.3 製炭アウトソース

冷却設備のなかったこれまでの炭窯では、アウトソース先において製炭のみでの事業化は不可能と思われていたが、今回の試験調査の結果により採算がとれる可能性が出てきたため、冷却設備を備えた炭窯の建造方法、厳密な製造原価計算方法、製炭作業手順、原木調達方法などをパック化して提携先を探すこととする。現在、当社においては炭の製造が間に合わないこともあって、自社で製造する炭は高温炭に限っており、低温炭は安価なラオス炭を輸入している状態である。ラオス炭は、国内の一般的な土窯で製造した炭(=低温炭)と全く同質であるが、価格は輸送費込みで1Kg当り40円~50円という価格で入手できる。前述の事業化の見通しにおける試算中、当社が買い受ける高温炭1Kgの単価を50円としたのは、このラオス炭に太刀打ちできる価格として設定したものである。高温炭製造においてこの価格が実現できれば、低温炭は1Kg50円未満で製造可能であるため、ア

ウトソース先では当社に納める炭以外にも、ホームセンターなど炭そのものを販売している小売業者に納めることも可能になって来る。

アウトソース先については、既に全国から多数の問い合わせが寄せられているため、これらの団体や個人を優先に考えて行く。

7.4 冷却後の温水の利用

導水管を通り抜けて来た水は、現在窯場に隣接する山林内の沢に排水しているが、最大流速で通水させても 30℃～50℃の温水となっている。通水バルブによって水量を調整すると熱湯状態にもなるため、今後は次のような利用方法も考えられる。

①融雪・解氷

窯場が山林内にあるためアクセス道路は日影が多く、冬季は凍結していたり降雪時には平地に比べ融雪が遅くなっている。これに対してゴム管程度の安価な素材による排水管をアクセス道路に沿って布設し、冷却設備から排出される温水を道路に流すことにより、融雪・解氷に利用して安全な交通を確保する。この設備には多額の費用はかからないため早期に実施したい。

②社員等福利更生設備

今回掘削した井戸から得られる地下水は、管轄保健所の水質検査の結果、飲用にしても全く問題ないため、将来的には山林の風情を活かした入浴施設などを整備し、製炭作業や研究作業に従事する要員や地元住民、来訪者等の疲れを癒しリフレッシュできる福利更生施設とすることも考えられる。この設備から社員相互や地元住民とのコミュニケーションを図り、円滑な事業展開に結び付けたい。

7.5 原木調達量の増加と森林資源有効活用への寄与

前述 7.2 のとおり既存の炭窯全てに冷却設備を施して製炭量が倍加すると、必然的に原木調達量も 2 倍以上に増加する。現在、近隣地域のマツクイムシ被害木を中心に、全て林業関係者が処分に苦慮している樹木を利用しているが、自社の原木需要の増加に伴ってこれまで受け入れを待っていただいて来たものについても円滑な受け入れ、若しくは当方から要請しての早期受け入れが可能となって来る。現在予定している調達先とそれに伴う森林資源有効活用への寄与構想は次のとおりとなっており、当面の間、原木調達には支障ないものと考えているが、さらに炭ボードの普及が進めば製炭に先行して安定した原木調達先を確保しておく必要に迫られることも想定されるため、これらの林業関係者と緊密に連携して森林資源の有効活用と山林地域の活性化に貢献して行きたい。

①近隣のマツクイムシ被害木を、現在よりもさらに早期に伐採して早期に製炭処理する。

これにより被害の拡大防止につなげる。

②間伐のための自社要員による伐採チームを編成し、間伐材の受け入れを加速させる。

現在遅々として進まない近隣の間伐の促進が期待できる。

③富士山麓の県有林の大半を占めるシラベが、現在既に 100ha ほど特定の害虫の被害を受けており、最悪 2000ha に及ぶ県有林に被害が拡大することが懸念されている。こ

のため被害木の早期伐採が各方面から望まれている。これに対して山梨県林務部及び富士山周辺の林業関係組合と協同して対応することにより、富士山麓の美しい森林の保護に結びつくと同時に、当社においての長期に渡る安定的な原木調達が図れるものとする。

8. 特筆すべき成果

今回の調査試験による特筆すべき成果は、何と言っても 8 日程度を費やしていた冷却時間が 4.5 日も短縮されて 3.5 日程度までになったことである。当初の短縮目標は 4 日であったが、事前の予想では 3 日程度ではないかと考えていた。当初目標の 4 日短縮では、製炭工程 1 サイクル 8 日となり、1 カ月では 4 サイクル稼働は不可能であった。それでも今までよりも 1.5 倍の炭の生産が確保できることになるため、3 日短縮という現実的な予想との兼ね合いから設定した目標であった。これが調査試験により 4.5 日短縮されて 1 サイクル 7.5 日となり、1 カ月 4 サイクル稼働が可能となったことの持つ意味は非常に大きい。

さらに特筆すべきことは、今回の調査試験は夏場に行ったため日中の気温は 25℃～30℃の状態であったが、これまでも冬は夏よりも冷却時間が 1 日から 2 日早まっていたことから、この冷却設備を冬場に用いると 1 サイクル 6 日以下までになることが期待できる。この状態になると 1 カ月 5 サイクル稼働が可能となり、冬季に限っては製炭効率が圧倒的に向上することとなる。

また前述 7.4 のとおり、今回の調査試験によって排出される温水から、副次的事業展開にも構想が及んだことも特筆すべき成果と言える。今、全国的に炭の効用が叫ばれ様々な形で利用されてブームとも呼べる状況にあるが、一方で製炭業は当社に限らずまだまだ人力による作業が多く、身体や着衣の汚れには甚だしいものがある。この過酷な作業の機械化も考えて行かなければならないが、それまでの時間と費用を考慮すると、今回の試験調査によって着想したりフレッシュ設備は、作業に携わる者に対する福利更生面で大きく寄与し、精神面からも製炭作業の効率アップにつながるものと思われる。

9. 試験調査委員会 委員

- 委員長 氏名……今津 千竹
所属……山梨県富士工業技術センター
役職……機械電子部長
- 委員 氏名……吉村 千秋（企業外技術者）
所属……山梨県富士工業技術センター
役職……研究員
- 委員 氏名……河野 裕（企業外技術者）
所属……山梨県富士工業技術センター
役職……研究員

委員 氏名……西巻 龍介（主任技術者）
所属……山英建設株式会社
役職……技術開発本部長

10. 技術者

主任技術者 氏名……西巻 龍介
所属……山英建設株式会社
役職……技術開発本部長

技術者 氏名……新藤 純平
所属……山英建設株式会社
役職……技術開発本部主任研究員

11. 他からの指導又は協力事項

指導事項 ①導水設備の設計段階における技術指導
②導水設備の設計段階における導水管形状指導
③井戸掘削予定地の選定段階における適地指導

指導者 氏名……岩間 貴司
所属……山梨県富士工業技術センター
職名……研究員

12. 参考文献

なし

13. 参考資料



化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材
性能証明事業

性能証明書

山英建設株式会社 殿



平成14年6月18日

財団法人ベターリビング

理事長 北島照躬



化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材性能証明事業規定に基づき、下記の材料について試験を実施した結果、下記の性能を証明する。

1. 材料

サイエンスボード

2. 性能 1/3

試験項目	化学物質低減化性能の減衰確認 (標準条件)			
試験材料名	サイエンスボード			
対象物質	測定時間	24h	48h	72h
ホルムアルデヒド	供給濃度 (C) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16.5	17.5	17.0
	吐出濃度 (C ₀) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.27	1.18	1.22
	換算換気量 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$			

試験項目	化学物質低減化性能の減衰確認 (標準条件)			
試験材料名	サイエンスボード			
対象物質	測定時間	24h	48h	72h
トルエン	供給濃度 (C) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	256.9	—	—
	吐出濃度 (C ₀) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	—	25.9	28.9
	換算換気量 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$	—	2.07	1.83

財団法人ベターリビング

参考資料1 (財)財団法人ベターリビング：性能証明書

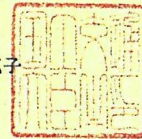
認 定 書

国 住 指 第 2011号
平成15年9月19日

山英建設株式会社

代表取締役 小松 徹 様

国土交通大臣 林 寛子



下記の構造方法又は建築材料については、建築基準法第68条の26第1項
(同法第88条第1項において準用する場合を含む。)の規定に基づき、同法
施行令第1条第五号(準不燃材料)の規定に適合するものであることを認める。

記

1. 認定番号

QM-0194

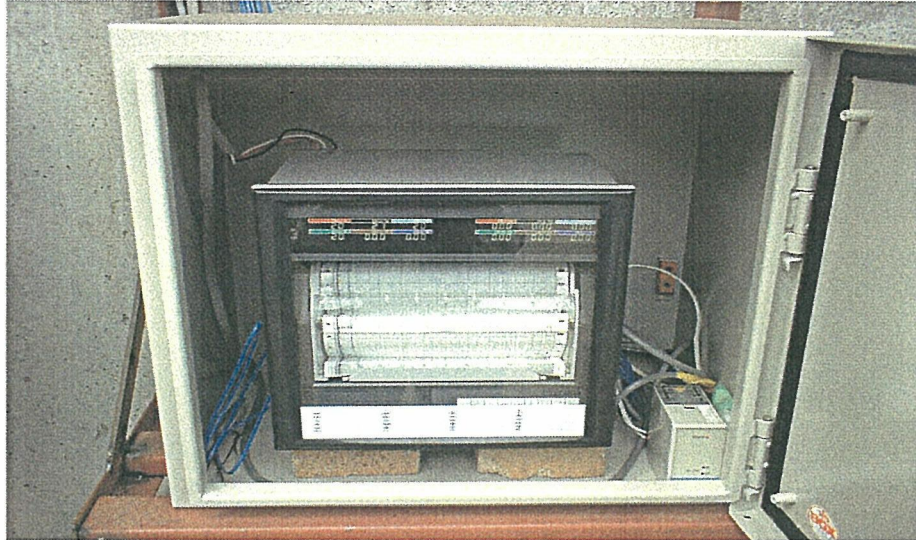
2. 認定をした構造方法又は建築材料の名称

ガラス粉塗装/ボード用原紙裏張/パルプ混入木炭板

3. 認定をした構造方法又は建築材料の内容

別添の通り

参考資料 2 国土交通省：準不燃材料認定書



参考資料 3 炭窯内部温度記録計



注:1) 1本3mのケーシングパイプを17本分(51m)掘削した状況

参考資料 4 井戸掘削最終段階



参考資料 5 掘削完了後の揚水状況