

震災廃棄木材を含む木質バイオマス系無機有機混合外装材の品質評価と環境影響

材料施工,モルタル・コンクリートの物性
未利用木材,セメント,複合体

大岩優美¹

田村雅紀²

1.はじめに

昭和20年代頃から植林してきた木々は多くが利用可能な樹齢に達しているが、現在の日本は材木の7割以上を輸入に依存しているため、森林荒廃が目立ち未利用の間伐材が増加している¹⁾。環境を保全し森林資源を循環させるため、未利用木材をバイオマスとして加工し使用可能な建材としたり発電用チップとして活用する必要がある。後者の場合固定化された炭素が燃焼時に排出するため、バイオマスを製品原材料とした低圧縮型木片コンクリートに注目した。これは骨材に木材を使用した無機有機混合コンクリートで、固定化されたCO₂を排出せず建材にでき、構造用材料として外装使用できる等、多くのメリットがある。しかし、海外の耐火基準は満たしているが、日本の法律で定められた圧縮強度を満たしておらず耐火試験が実施できないため、日本で構造用材料としての使用は容易ではないが、圧縮強度20N/mm²以上を一部の水準で達成し、構造材料として使用を可能にする第一歩となっている²⁾。

建築材料を分類すると、構造材、仕上材、下地材及び機能材の4種類に分けられる³⁾。本研究では構造体としての使用と共に機能性を含んだ仕上材としての利用拡大に向け、表1の使用材料により製造した無機有機混合外装材（以下MYボードとする）としての評価を進め、CO₂固定化に貢献できる建材を目指す(図1)。表2に必要な試験の抜粋とJIS規定を表3に比較試験体の種類を示す。試験体の作製にあたって、外装材として使用されているボード類のJISとの比較検討をふまえ⁴⁾、研究1、2でMYボードの性能評価を行い、研究3で環境影響に対する評価を行う。

2.研究概要

2.1 無機有機混合外装材の耐久性評価（研究1）

2.1.1 吸水乾燥試験による基礎物性評価

図2に吸水乾燥試験の流れを示す。吸水乾燥による木チップの劣化を評価するため、繰り返しの吸水乾燥を行う。ステップ1では約20の部屋で水道水に6時間含水させ、1時間おきの質量を計測した。その後、丸1日以上含水させ、その状態を完全吸水状態とする。ステップ2では60の乾燥機で強制乾燥さ

せ、1時間おきに質量を測り完全乾燥状態時に色差を計測した。同様の試験を繰り返し行い、ステップ3、ステップ4とする。

図3に吸水・乾燥試験による各試験体の施工時からステップ4までの密度変化を示す。密度は式1)によって求める。吸水乾燥を繰り返すことで密度が下がり、その変化量はチップが大きいほど大きくなった。

$$\text{密度}(\text{kg/m}^3) = \frac{MO}{V} \quad \text{— 1)}$$

ここに、V:試験体体積(m³)、MO:試験体質量(g)

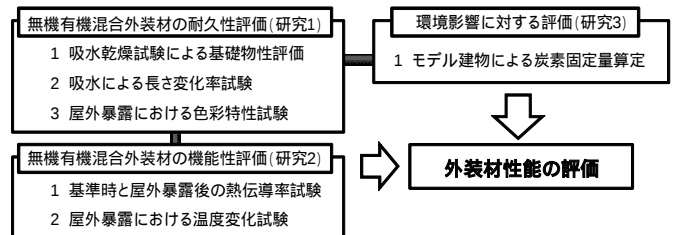


図1 研究の流れ

表1 使用材料

項目	記号	種類	平均最大寸法(mm)
木チップ C	C-RS	リサイクル材(小)	- (微粉末)
	C-RM	リサイクル材(中)	11.7
	C-RL	リサイクル材(大)	39.3
	C-KS	カラ松材(小)	(3mmメッシュを通過)
	C-AS	赤松材(小)	(3mmメッシュを通過)
セメント	N	普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm ³)	
AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体	
増粘剤	M	メチルヒドロキシエチル化した水溶性MCE系混和剤	
チップサイズの基準	小	パーティクルボード表面材サイズ	
	中	パーティクルボードコア材サイズ	
	大	解体木材を一次破砕工程でできるサイズ	

C-RS (微粉末)

C-RM (11.7mm)

C-RL (39.3mm)

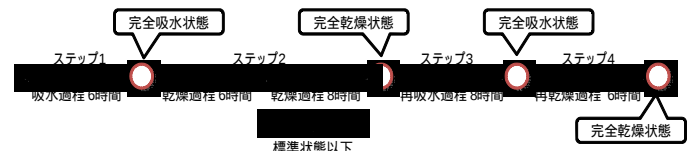


図2 吸水・乾燥試験の流れ

表2 各種ボード類の要求性能試験項目(一部)とJIS規定

材料	圧縮強度(N/mm ²)	密度(kg/m ³)	曲げ破壊荷重(N)	曲げ強さ(N/mm ²)	含水率(%)	吸水率(%)	透水性	吸水による長さ変化率(%)
窯業系サイディング(JIS A 5422)	—	—	12mm: 690以上, 15mm: 785以上, 18, 21, 25mm: 885以上	—	—	—	減衰高さ10mm以下	—
押し出し成型外装板(JIS A 5441)	—	—	—	17.6以上	8以下	18以下	—	0.07以下
ALCパネル(JIS A 5416)	3.0以上	450を超え550未満	—	50mm: 780N以上, 37, 35: 200N以上	—	—	—	—
せっこうボードGB-R(JIS A 6901)	—	—	長さ 9.5mm: 360以上, 12.5mm: 500以上, 15.0: 650以上 幅 9.5mm: 140以上, 12.5mm: 180以上, 15.0mm: 220以上	—	3以下	—	—	—
繊維強化セメント板(JIS A 5430)	—	—	—	18.0以上	—	28%以下	裏面に水滴が生じてはならない	0.25以下

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士(工学)

図4に比較試験体の体積表面積比を図5に空隙率を図6に吸水・乾燥試験による含水率の変化を示す。体積表面積比、空隙率含水率は式2)3)4)によって求める。チップが大きくなるほど体積が小さくなり、空隙が大きくなる。赤松材のほう空隙率が大きくなったが、コンクリートの硬化不良を起こすと言われているカラマツ材の結果に大差はなかった。

$$\text{体積表面積比 (cm)} = \frac{V}{S} \quad \text{— 2)}$$

$$\text{空隙率 (\%)} = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2} \right) \times 100 \quad \text{— 3)}$$

$$\text{含水率 (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad \text{— 4)}$$

ここに、V:試験体実体積 (cm³)、S:試験体かさ表面積 (cm²)
 V1:試験体実体積 (cm³)、V2:試験体かさ体積 (cm³)
 m0:試験体乾燥時の質量 (g)、m1:試験体採取時の質量 (g)

MY ボードの含水率の変化が CON に近く大きな変化が見られないこと、木チップを混合させることで体積の大きな変化が起こらないことから、ボード自体の大きな変形の可能性は低いと考えられる。しかし、RL に吸水後の乾燥による木チップのみの収縮でモルタルとの間に微小な隙間ができた。

2.1.2 吸水による長さ変化率試験

図7に吸水による長さ変化率を示す。8種類の比較試験体から長さ変化率の試験体(100×150×50mm)を採取し、試験体の標線間隔が約100mmになるように標点を刻む。乾燥器に入れ、その温度を60±3 に保ち24時間経過した後取り出してコンタクトゲージにより長さを測定し、それを基準長さ(L₁)とする。次に48時間の水中浸せき後、水中から取り出して再び標線間の長さ(L₂)を測定し、長さ変化率 L を式5)によって求める。

$$L = \left(\frac{L_2 - L_1}{L_1} \right) \times 100 \quad \text{— 5)}$$

ここに、L:吸水による長さ変化率 (%)
 L₁, L₂:乾燥時、吸水時の標線間長さ (mm)

繊維強化セメント板のJIS規格である0.25%以下を若干上回る結果となったが、CONの性質を多く付加した材となった。

2.1.3 屋外暴露における色彩特性試験

図8に屋外暴露試験における色彩特性を示す。試験台に8種類の試験体を3体ずつ並べ、外装使用想定のため太陽光や降雨での劣化調査を1カ月ごとに色差、質量、温度変化測定を行った。暴露台は雨溜まりを防ぐため30°の勾配をつけた。

木は紫外線の吸収によりリグニンの分解、それに伴う色素の溶脱が起き、黒色化し明度が下がる⁵⁾。屋外暴露によるL*

値ではWSとRLは明度が低下した。これは材の劣化を表し、木チップが大きくなるほど木の影響を大きく受けたと考える。

abクロマC*_{ab}は、色座標a*, b*を用いて式6)によってL*a*b*表色系における二つの物体色のabクロマの差、彩度変化率は式7)8)によって求める⁶⁾。

$$C^*_{ab} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{— 6)}$$

$$C^*_{ab} = C^*_{ab,S} - C^*_{ab,R} \quad \text{— 7)}$$

$$\text{彩度変化率 (\%)} = (C^*_{ab,S} / C^*_{ab,R}) \times 100 \quad \text{— 8)}$$

ここに、C*_{ab}:彩度の変化量

表3 比較試験体の種類

記号	名称	厚さ [mm]	表面積 [cm ²]	体積 [cm ³]	V/S比 [cm]	密度 [kg/L]
RS	リサイクルチップ 小	35.68	340.71	345.4	1.01	1.34
RM	リサイクルチップ 中	36.09	346.07	330.1	0.95	1.33
RL	リサイクルチップ 大	35.63	355.81	331.3	0.93	1.56
AS	赤松チップ 小	36.19	349.69	344.8	0.99	1.36
KS	カラ松チップ 小	35.75	347.00	345.8	1.00	1.51
Dur	低圧縮型木片コンクリート	48.00	394.73	267.2	0.68	1.13
CON	コンクリート	35.75	351.25	344.1	0.98	2.32
WS	杉	36.85	349.90	350.3	1.00	0.46

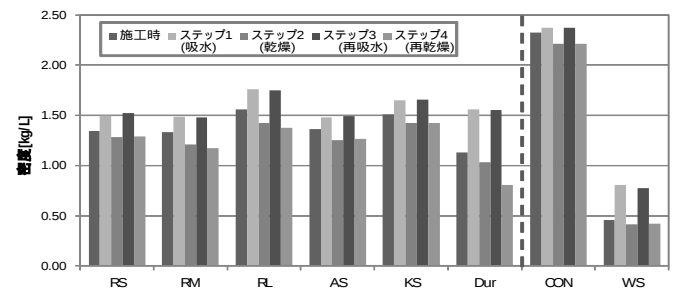
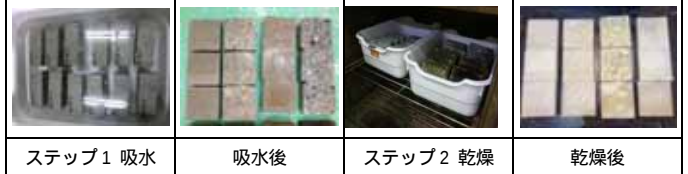


図3 吸水・乾燥試験による密度変化

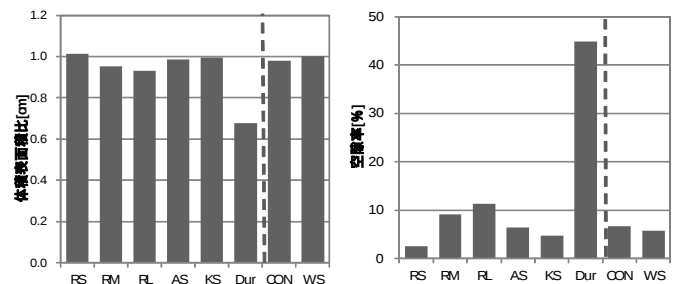


図4 比較試験体の体積表面積比

図5 比較試験体の空隙率

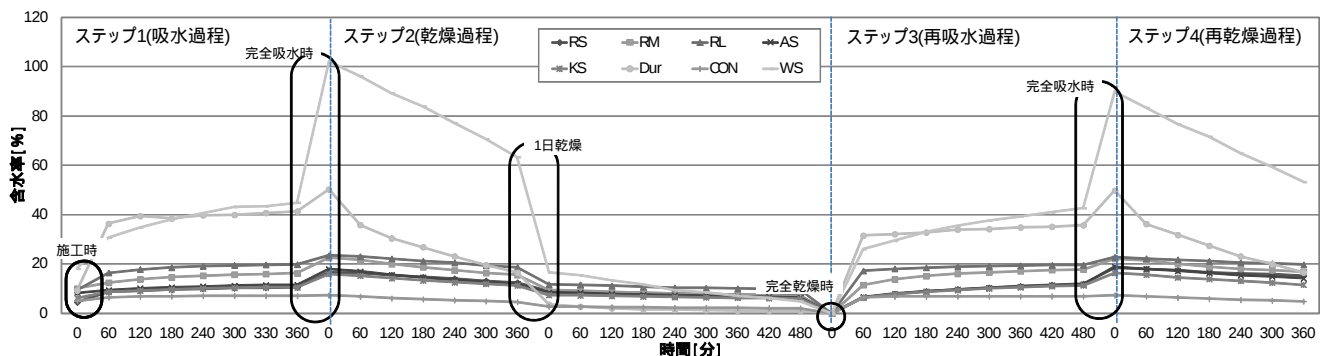


図6 吸水・乾燥試験による含水率の変化

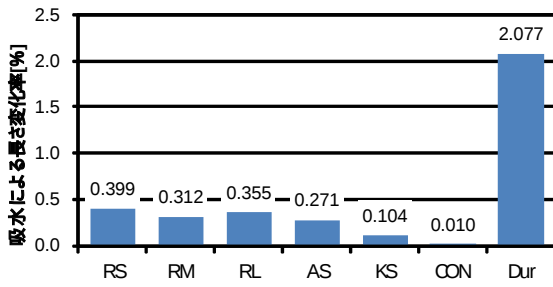


図7 吸水による長さ変化率(%)

図 8-e, g に初期値から暴露後の C^*ab 値の変化率(%)及び C^*ab 値の変化量を示す。 C^*ab 値の変化量において値が大きいほど色の変化が大きく、屋外使用による色の变化を示す。図 7-d より、 b^* 値低下をふまえ、色落ちの度合いと考える。

$L^*a^*b^*$ 表色系による色差は、式 9)によって求める。

$$E^*ab = \left[\left(\frac{L^*}{100} \right)^2 + \left(\frac{a^*}{100} \right)^2 + \left(\frac{b^*}{100} \right)^2 \right]^{1/2} - 9$$

ここに、 E^*ab : 色差の変化量

2.2 無機有機混合外装材の機能性評価（研究2）

2.2.1 基準時と屋外暴露後の熱伝導率試験

図 9 に基準時と屋外暴露後の熱伝導率を示す。熱伝導率は迅速熱伝導率計を用いボックス式プローブ法で測定した。測定範囲は $0.023 \sim 12 \text{ W/mK}$ で、熱伝導率測定原理は式 10)である。

MY ボードの熱伝導率は CON の約 31%に抑制でき、木材の木質化により機能性の向上がみられた。

$$\lambda = \left(\frac{q \cdot \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \right) - 10$$

ここに、 λ : 試料の熱伝導率(W/mk)、 t_1, t_2 : 測定時刻(sec)

q : ヒーターの単位時間、単位長さ当たりの発熱量(W/m)

T_1, T_2 : 時刻 t_1, t_2 での温度(K)

2.2.2 屋外暴露における温度変化試験

図 12 に各試験体の温度変化を示す。太陽光に近い白熱灯を試験体より 30 cmの高さから 60 分照射し、表面温度と裏面温度を各 3 点測定する。温度上昇一定時に、全国的平均雨量である 3mm/分を流下し、温度上昇傾向をみる。

基準となる CON は WS と比べ熱伝導率が高いため、表面温度の上昇に伴い裏面温度も上昇した。CON に比べ MY ボードは温度低減効果がみられ、雨や日射により熱伝導率にも影響を与えるが、あまり大きくないため機能性を保持できるといえる。

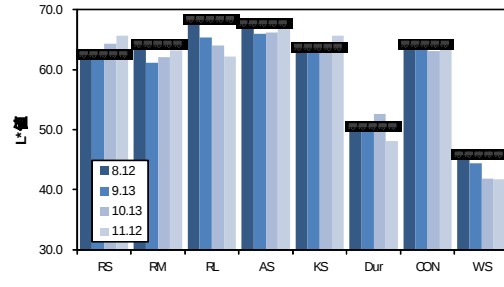
図 13 に各試験体の温度低減率を示す。

$$\text{温度低減率}(\%) = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \quad \text{—9—}$$

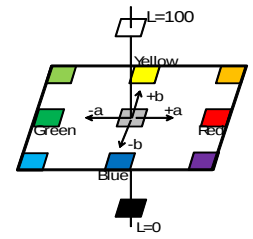
ここに、 T_1 : 温度上昇が一定時の温度(), T_2 : 散水時の温度()

2.3 環境影響に対する評価（研究3）

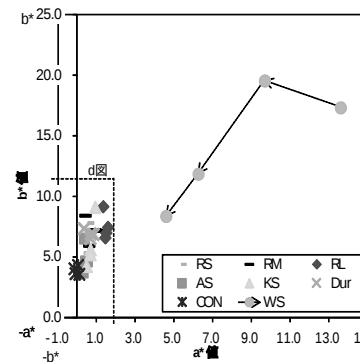
モデル建物を想定し、MY ボードの木チップ含有量による炭素固定量の算定をする⁷⁾。表 4 に環境評価方法について示し、モデル建物は日本建築学会標準住宅モデルを使用する。



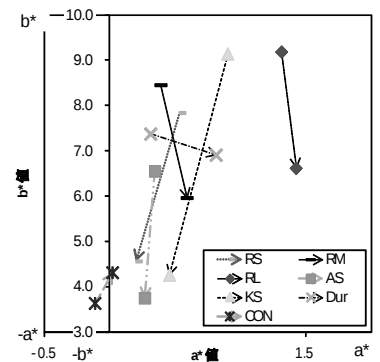
a) 屋外暴露における L^* 値の変化



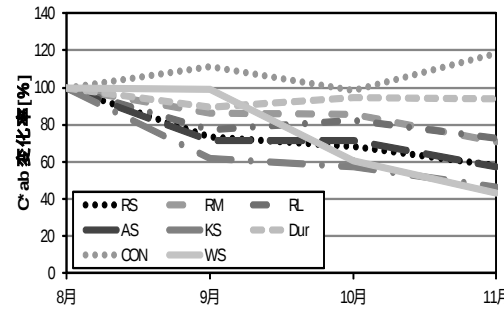
b) $L^*a^*b^*$ 表色系



c) 屋外暴露による a^*b^* 値の変化



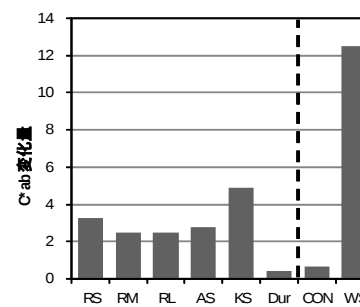
d) c 拡大図



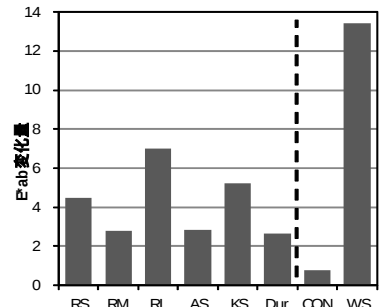
e) C^*ab 値の変化率(%)



f) 屋外暴露の様子



g) C^*ab 値の変化量(3 カ月)



h) E^*ab 値の変化量(3 カ月)

図8 屋外暴露試験における色彩特性試験

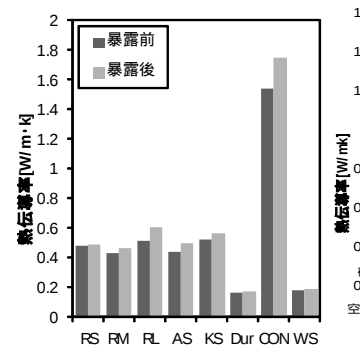


図9 屋外暴露前後の熱伝導率

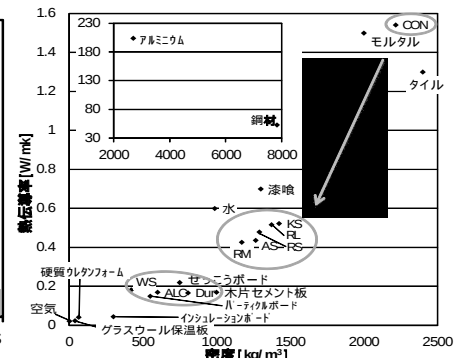


図10 MY ボードを含む建築材料の密度と熱伝導率

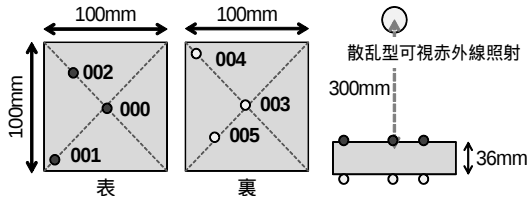


図 11 熱電対測定点

木造、S 造、RC 造の構造方法に対して、一般的建材と MY ボードの CO₂ 排出量の比較を行った。未利用木材を建材として使用せず発電用チップとして使用した場合、セルローズ(C₆H₁₂O₆)に含まれる炭素分が全て CO₂ として排出されるため、その分を建材に固定したと考え、単位二酸化炭素排出量から木チップ使用による炭素固定量をマイナスして求める。

図 14 に CO₂ 排出量を示す。MY ボードはセメント量増加で強度向上を図ったため使用方法により CO₂ 排出量が上がるが、建物に対するボードの割合では大きな差は見られなかった。

3. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 木チップの使用によりコンクリートに比べ屋外使用による色落ちが多くみられたが、熱伝導率の低下及び温度低減効果を発揮した。
- 2) 大サイズの木チップで吸水による長さ変化率や色差の変化量が上昇したため、使用するチップが大きいほど耐久性に影響を与えると考える。
- 3) 劣化による機能性低下の割合は木チップが大きいほど大きくなったため、機能性の向上はチップの使用量によって決まると考える。
- 3) 無機有機混合材はセメント量増加での強度向上のため CO₂ 排出量が上がるが、工法や必要性能の違いで木チップの割合を検討することにより CO₂ 排出量を抑えることができると考える。

参考文献

- 1) 林野庁, 平成 24 年度森林・林業白書, 2012 年
- 2) 荒川, 田村: 未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2013. 3
- 3) ベーシック建築材料, 彰国社, 2010 年
- 4) JIS ハンドブック, 建築, 材料, JIS A 5422, JIS A 5441, JIS A 5416, JIS A 6901, JIS A 5430, 2005 年
- 5) 直井ら他 3 人: 屋外暴露-改質こけら葺き材の初期劣化性状の評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2013. 3
- 6) JIS ハンドブック, 色彩, JIS Z 8729, JIS Z 8730, 2005 年
- 7) 日本建築学会, 地球環境委員会, 一般建築用 LCA ツール, 2006 年

謝辞

本研究の実施にあたり、住友林業ホームテック荒川氏、木チップの提供や加工、ヒアリング調査等で東京ボード工業、セキスイボード、デュリソルジャパン関係各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H25 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)による。

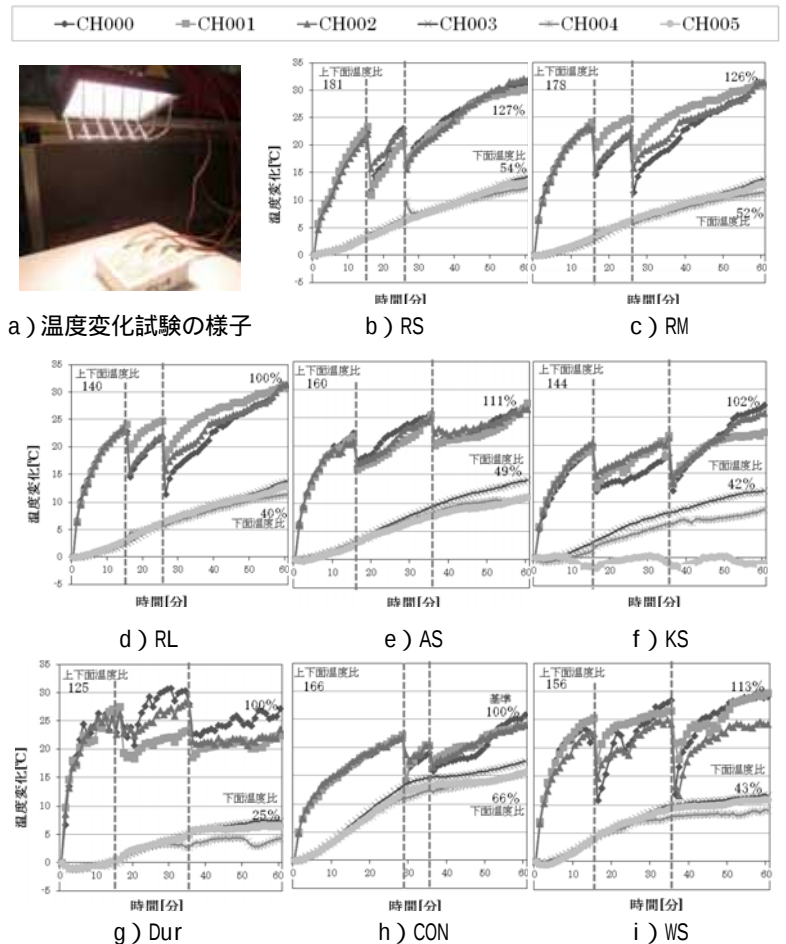


図 12 屋外暴露試験体の温度変化試験

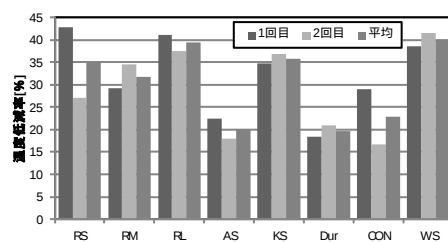


図 13 散水による温度低減率

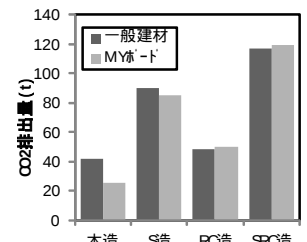


図 14 各種建物の製造時 CO₂ 排出量比較

表 4 環境評価方法の概要

概要	日本建築学会標準住宅モデル 地上 2 階建て延床面積 125.88m ² (1,2 階とも 62.94m ²) 木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の 3 構造それぞれを想定				
	1 階平面図 断面図				
環境影響度	構造体	外壁	製造時 CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	二酸化炭素排出量(t-CO ₂)	厚さ (mm)
	木造	木造	24.2	一般の建材	サイディング 24.9
				MY ボード	25.7
	S 造	押出成形板	80.6	一般の建材	モルタル 41.6
RC 造	RC 造	PCa 型枠	46.6	一般の建材	90.0
				MY ボード	84.9
SRC 造	SRC 造	SRC 造	48.0	一般の建材	50.2
				MY ボード	30