

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 8 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560573

 研究課題名（和文） 塩化ビニル系建築廃材を用いたリサイクルシートの
配合設計に関する研究

 研究課題名（英文） Research on the mix proportion design method of
recycled plastic sheet

研究代表者

小山 明男（KOYAMA AKIO）

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：90285099

研究成果の概要（和文）：本研究は塩化ビニル系建築廃材から得られる再生粉体を用いてリサイクルシートの作成を可能とし、リサイクルシートの基礎的な物性及び耐久性を明らかにした。そして、このリサイクルシートの最終的な用途に防水シートを想定し、実環境を想定とした促進暴露試験を行うことで、リサイクルシートの長期的な耐久性を実験的に明らかにした。また、これらの実験結果からリサイクルシートの耐久性向上のためリサイクルシートの複層化にかかわる製造方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：Various kinds of PVC sheets are used as a finishing material for buildings. These PVC sheets are considered as appropriate material for recycling, because PVC has thermoplastic. In this research, fundamental mechanical property and durability tests were carried out on recycled PVC specimens to establish the appropriate mix proportion method. In addition, the production process for layered structure of recycling sheets is proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：リサイクル・塩化ビニル樹脂・防水・壁紙・耐久性・複層化・実用化・壁紙

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

塩化ビニル樹脂（以下、塩ビ）は、幅広い硬度の対応性、耐候性、電気絶縁性等に優れ、自動車・家電部品、電線被覆材、建材など、多岐にわたる分野で使用されている。しかしその反面、優れた特性を併せ持つことから塩ビ系材料はリサイクルが難しいとされていた。その最大の原因として、塩素を含む高分子素材であり、ダイオキシンや焼却炉の腐食

が懸念され、サーマルリサイクルなどの高温処理には適さないとされたからである。これらの課題に対しては様々な研究が各分野で行われ、ダイオキシンの発生温度や人体への影響などが解明され、焼却炉の高度化などによりある程度解決されてきた。

しかし、建設分野での塩ビ建材のリサイクルは依然として低迷したままである。その理由として、塩ビ建材が基本的に多素材と複合的に用いられるため、リサイクルの際に分別

しなければならないためである。さらに、多用途に用いられるため建設廃棄される際にはそれぞれの物性が大きく変化しており、塩化ビニル建材の中でも細かく分別される必要がある。

これらの課題に加え、高度成長期以降に建てられた建築物の更新時期から、排出量増大は明確であり、近年の資源循環型社会構築への意識の高まりが背景にあることから、廃塩ビ建材のリサイクル手法確立は必要不可欠であるといえる。

循環型社会形成推進基本法及び建設リサイクル法の本格施行に伴い、建設廃棄物の再資源化率は高い水準を維持している。これは建設資材の多くを占めるコンクリートや木材のリサイクル率が高いためであるが、その一方で、建設混合廃棄物のリサイクル率は伸び悩んでいる。つまり、多くの建築仕上げ材料については、そのリサイクル技術開発は遅れている。そこで、建築仕上げ材料の製造メーカーが多数参画している建材産業協会では、建築仕上げ材料の再資源化に関する実態調査を行った。研究代表者らもこの調査に参画し、調査過程において塩ビ建材のリサイクル手法の開発を手掛けることとした。

2. 研究の目的

(1) 研究目的

本研究は塩ビ建材の再資源化手法開発を目的とする。研究代表者らは、廃塩ビ建材の再資源化手法開発に継続して取り組んでおり、廃塩ビ建材から再資源化原料を製造する手法をすでに開発（叩解法）している。

この叩解法で得られる再資源化原料をシート状に成形し、再生樹脂シートというカタチでリサイクルの基盤とした。しかし、再資源化原料によって得られる再生塩ビ製品を普及するには、多様な塩ビ建材の廃棄物を有効に利用しながら所要の品質を有する再生樹脂シートを製造できることが必要となる。

そこで、本研究では再資源化原料の種類と配合が再生樹脂シートの品質に及ぼす影響を実験的に明らかにし、この種のリサイクル材の配合設計手法の確立を目指す。

(2) 実験目的

本実験を以下のように三つに大別する。

① 廃材種類と混入比率の影響に関する検討

廃塩ビ建材から得られる再生樹脂シートは、タイルカーペット、壁紙、防水シートなど、廃材の由来により品質が異なるため、各種廃材の品質特性及び組成などを実験・調査し、配合設計のための基礎資料とする。

また、用途としては床材や防水シートを想定し、再生樹脂シートを製造して、その品質評価を行う。品質評価については、床材や防水シートのJISの試験を参考に各種廃棄物から得られる再生塩ビ粉体の配合率を変動因

子として、再生樹脂シートの品質試験（強度や耐久性）を行い、廃材種類と配合率による影響を明確にする。そして、再生塩ビ粉体のみによって得られる品質に限界があれば、ヴァージン原料の混入によって品質向上を見込む。また、防水シートは本来10～20年程度使用されることから、長期耐久性試験もを行い、長期劣化傾向の把握、延いては使用寿命の検討を行う。

② 複数廃材種類混入の影響

リサイクル製品の普及に向けた課題として、製品原料（本研究の対象は廃塩ビ建材）の安定供給が難しい点が挙げられる。そこで本研究では、壁紙のみ、防水シートのみといったカタチで特定の廃塩ビ建材を扱うのではなく、種類の異なる塩ビ廃材を混合しても十分な品質を確保する手法を検討する。

すなわち、再生塩ビ製品に対して、原料となる廃材種類を増やし、その適切な配合方法を明らかにすることで、再生塩ビ製品の安定供給を可能とし、実用化に耐え得るリサイクル技術とする。

③ 再生樹脂シートの複層化

本研究で対象とする再生樹脂シートの製品形態としては、複合積層構造のシートとなる。複合積層再生樹脂シートの製造予備実験として適切な積層方法を模索する為、温度条件、厚さ及び加圧力などを変動因子として複合積層化し、品質確認実験を行う。また、複層されるシートの廃材種類や混入率、枚数を変動させ、この方法による品質向上効果及び最適な組み合わせを検討する。

以上の3つの実験によって、再生樹脂シートの配合設計手法の確立と、製品化に必要な条件を検討する。

3. 研究の方法

(1) 実験概要

建築現場から回収したタイルカーペット、壁紙、防水シートの廃材を、粉碎技術（叩解法）により300 μ m以下に微粉化し、再生塩ビ粉体として使用した。

これら数種の再生塩ビ粉体を各水準に合わせて配合してシート状に成形し、各種試験を行った。図1に実験フロー図を示す。



図1 実験フロー図

(2) 使用した塩ビ樹脂

再生樹脂シートに用いるヴァージン材として、ポリ塩化ビニルと可塑剤を5:3の割合で配合して使用した。なお、ポリ塩化ビニルはT社の「PVC TH-1000」、可塑剤はD社のDIDP（フタル酸ジイソデシル）を使用した。

(3) 再生樹脂シート作製方法

再生樹脂シートは、ポリ塩化ビニル、可塑剤、廃材からなる再生塩ビ粉体を所定の配合で混合し、温度160℃に設定したミキシングロールに投入、それぞれの原料が均質になるまで練混ぜ、厚さ0.5mmで均一になるように成形した。写真1にミキシングロール、写真2に再生樹脂シートの外観を示す。



写真1 ミキシングロール 写真2 再生樹脂シート

(4) 各種試験概要

再生樹脂シートは、JISに規定される中から基礎的な品質試験（引張強さや伸び率）を行い、耐久性試験として加熱温度80±2℃の加熱処理、アルカリ処理、熱・紫外線・散水を複合的に試験する促進暴露処理を行った。

また、劣化傾向の把握のため、加熱処理促進期間を7, 14, 28, 56, 112, 224日間、紫外線劣化処理促進期間を250, 500, 1000, 2500時間と長期的に行った。測定方法としては、重量測定、引張性能試験及び長さ変化試験を行い、各水準においての初期物性との比較を行った。図2に加熱処理のイメージ図、写真3に促進暴露処理風景を示す。



図2 加熱処理イメージ図 写真3 促進暴露処理風景

(5) 試験体水準および配合概略

本実験では再生塩ビ粉体をシート状に成形する前に、粉体の状態で配合を行った。配合は廃壁紙(W)、廃タイルカーペット(T)、廃防水シート(P)の再生塩ビ粉体と、ヴァージン材(V)を各試験体水準に合わせて混合した。また、廃材1種類に対してヴァージン材を配合した水準をシリーズ1、廃材2種類の水準をシリーズ2、廃材3種類の水準をシリーズ3と区分した。表1に試験体水準一覧を示す。なお、ここで用いられるR率とは、廃材混入率、すなわちリサイクル率を示す。

表1 試験体水準一覧

水準名	R率 %	配合割合(%)			
		R ₁	R ₂	R ₃	V
V100	0	0			100
R.20V80	20	20			80
R.40V60	40	40			60
R.60V40	60	60			40
R.80V20	80	80			20
R.100	100	100			0
R.10R.30V60	40	10	30		60
R.20R.20V60	40	20	20		60
R.30R.10V60	40	30	10		60
R.15R.45V40	60	15	45		40
R.30R.30V40	60	30	30		40
R.45R.15V40	60	45	15		40
R.20R.60V20	80	20	60		20
R.40R.40V20	80	40	40		20
R.60R.20V20	80	60	20		20
R.80R.20	100	80	20		0
R.50R.50	100	50	50		0
R.20R.80	100	20	80		0
R.10R.10R.10V70	30	10	10	10	70
R.20R.5R.5V70	30	20	5	5	70
R.5R.20R.5V70	30	5	20	5	70
R.5R.5R.20V70	30	5	5	20	70
R.20R.20R.20V40	60	20	20	20	40
R.40R.10R.10V40	60	40	10	10	40
R.10R.40R.10V40	60	10	40	10	40
R.10R.10R.40V40	60	10	10	40	40
R.40R.40R.20	100	40	40	20	0
R.20R.40R.40	100	20	40	40	0
R.40R.20R.40	100	40	20	40	0
R.80R.10R.10	100	80	10	10	0
R.10R.80R.10	100	10	80	10	0
R.10R.10R.80	100	10	10	80	0

注) R₁, R₂, R₃は壁紙、タイルカーペットまたは防水シートを示す。Vはヴァージン材を示す。

(6) 再生樹脂シートの複層化

① 複層シートの作成方法

複層シートは、外層としてヴァージンまたは再生樹脂シート2枚と、中間層として1~4枚の再生樹脂シートを貼り合わせた。これらを125℃に加熱した加熱プレス機に挟み、2N/cm²の圧力で5分間プレスした。その後シートを取り出し、常温になるまで冷却した。図3に試験体イメージ図、図4に加熱プレス機、図5に試験体記号説明を表す。表2は水準別配合概略を示す。なお、ここで用いる加熱温度、時間、加圧力は接着力試験により得られた値である。

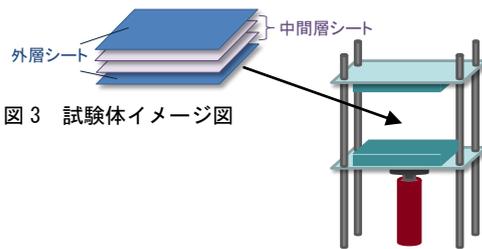


図3 試験体イメージ図

図4 加熱プレス機



図5 試験体記号説明

表2 水準別配合概略

試験体名	全体		外層		中間層	
	R率 %	枚数	R率 %	枚数	R率 %	枚数
V100-R100	33.3	3	0.0	2	100.0	1
V100-2R100	50.0	4	0.0	2	100.0	2
V100-3R100	60.0	5	0.0	2	100.0	3
V100-4R100	66.7	6	0.0	2	100.0	4
R.50-R.100	66.7	3	50.0	2	100.0	1
R.50-2R.100	75.0	4	50.0	2	100.0	2
R.50-3R.100	80.0	5	50.0	2	100.0	3

②複層化シート試験方法

まず、再生樹脂シートを熱癒着し複層化するにあたり、適切な加熱温度、加圧力、接着時間を明らかにするため、シート間の接着試験を行う。接着試験はJISに準じて行い、T形試験片(図6)の接着していない端を固定し、上下に引っ張ることで測定する。

また、複層化再生樹脂シートの品質試験は、単層再生樹脂シートと同様の試験を行った。また、促進暴露処理を250時間行い、その後引張性能試験を行った。

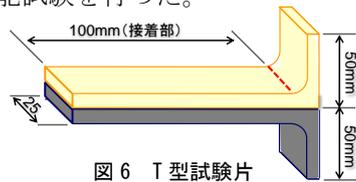


図6 T型試験片

4. 研究成果

(1) 廃材種類と混入比率の影響

①初期物性

図7に各水準と引張強さの関係、図8に伸び率の関係を示す。各種廃材とも廃材混入率(リサイクル率)を高めると、品質は低下するが、タイルカーペットは著しく低下した。また、図中の赤線はJIS規格値、つまり材料としての基準値(ここでは防水シートの基準値)であるが、タイルカーペットでは廃材混入率20%、防水シートでは100%、壁紙では40%までが基準を満たした。

この結果から、廃材の種類により大きく品質のばらつきがあり、リサイクル率を向上させると品質が大きく低下するといえる。しかし、複数廃材種類の混合が可能であれば、高いリサイクル率製品の製造が見込まれる。

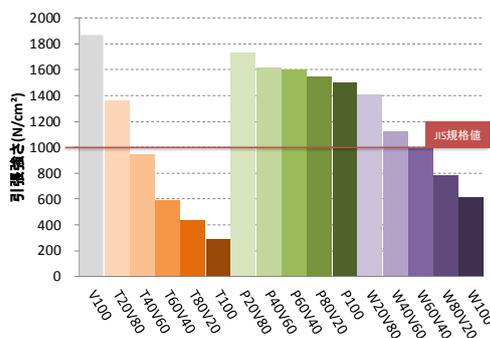


図7 各水準と引張強さ

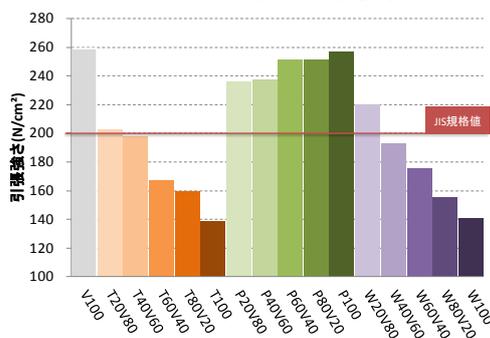


図8 各水準と伸び率

②耐久性

図9に加熱処理7日間後の各水準と引張強さ比の関係を示す。タイルカーペット100%以外の水準において基準値を満たした。また、伸び率も同様の傾向を示した。

アルカリ処理及び促進暴露処理試験においては、品質への影響は極めて少なく全ての水準において基準値を満たした。加熱及び吸水長さ変化試験においては、すべての水準で1%以下の伸縮率であり、基準値を満たした。

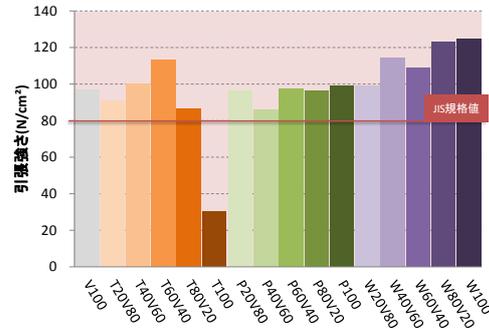


図9 加熱処理後各水準と引張強さ比

次に、長期間の加熱処理後の引張強さ比の関係を図10に示す。品質にばらつきはあるが、加熱処理時間が長くなるほど品質は一時低下、その後向上する傾向を示した。この傾向は高分子素材、つまりプラスチック素材特有の熱硬化によるものだと考えられる。また、図11に質量減少率と引張強さ比関係を示す。この結果から再生樹脂シートの軟化を促す可塑剤が揮発し、硬化したといえる。

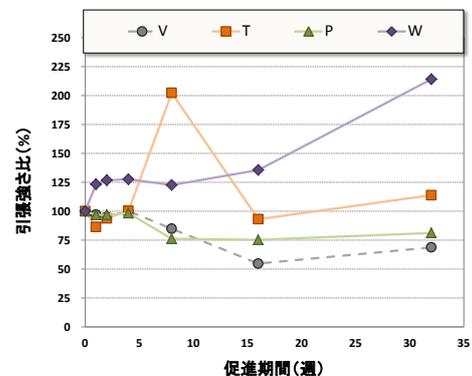


図10 加熱促進期間と引張強さ比の関係

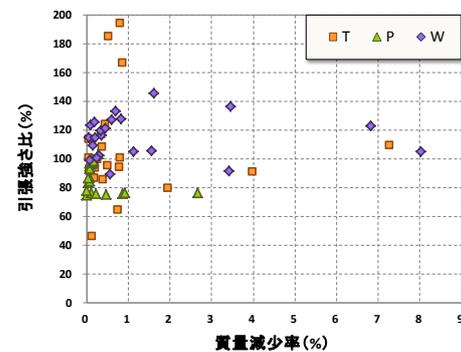


図11 質量減少率と引張強さ比の関係

長期間の促進暴露処理においては、劣化が著しく起こり、劣化傾向の把握までには至らなかった。その原因として、紫外線による高分子素材の分子結合破壊が加熱劣化と複合的に重なったためと考えられる。

(2) 複数廃材種類混入の影響

シリーズ2（廃材2種類混入）及びシリーズ3（廃材3種類混入）ともに、シリーズ1と同様に、廃材混入率の増加に伴い品質は低下した。実験結果より、再生樹脂シートに混入される廃材種類が複数になっても、品質は混入される廃材の約平均に値することが明らかとなった。シリーズ3における引張強さの関係を図12に示す。

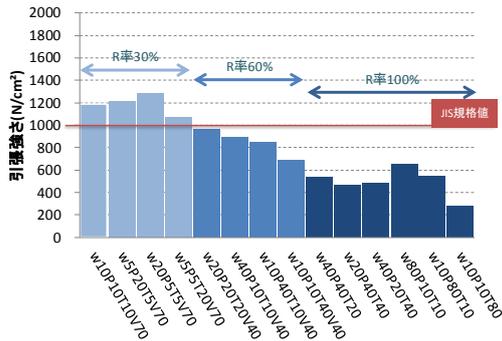


図12 各水準と引張強さ（シリーズ3）

(3) 再生樹脂シートの複層化

① 接着試験

複層化にあたり、シート間の接着力を温度(T)、圧力(P)、時間(S)を変動因子とし、測定した結果を図13に示す。接着するシートの廃材種類により接着力は異なるが、それらの試験結果から、接着温度125℃、接着圧力2N/cm²、接着時間5分間が最も接着力が高かったため、これを適値とする。

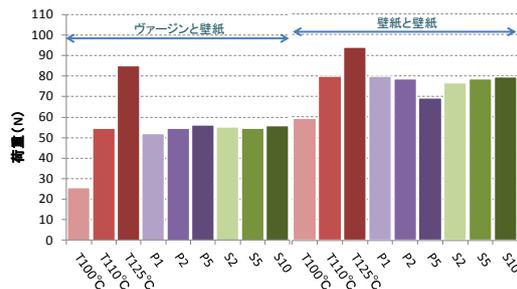


図13 各水準と接着力

② 複層化による品質向上

複層化再生樹脂シートを各種試験した結果、廃材の種類によりバラつきはあるものの、廃材混入率70%程度で、単層シートよりも強い品質を発現することが明らかとなった。この結果から、廃材混入率が高いことで品質が劣る再生樹脂シートでも、品質が高いシートと複層することにより製品として扱えるようになる。即ち、本リサイクル手法のリサイ

クル率を飛躍的に向上させること可能になるといえる。図14にヴァージンと壁紙を複層化した再生樹脂シートの引張強さを示す。

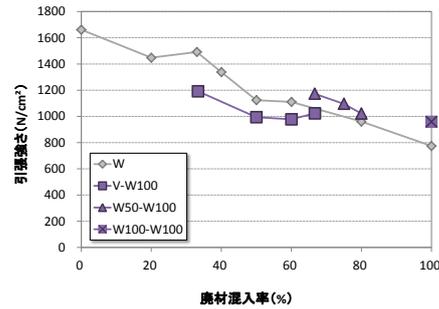


図14 壁紙を用いた複層シートの引張強さ

(4) 品質予測式の提案

本実験結果から再生樹脂シートは、混入する廃材の種類及び量により規則性があるといえる。さらに塩ビ建材は基本的に塩化ビニル樹脂、可塑剤、炭酸カルシウムから組成されており、これらの組成割合から再生樹脂シートの品質予測が可能と考えられる。

そこで、各種廃材の一般的な組成割合と本実験データから、品質予測式の提案を行った。式1に再生樹脂シート品質予測式を示す。

$$Q_v = A + \alpha \times P + \beta \times D + \gamma \times C \quad \dots \text{式1}$$

Q_v : ヴァージンの塩ビ樹脂シートの品質
 P : PVC原料組成(%), D : 可塑剤原料組成(%)
 C : 炭酸カルシウム原料組成(%),
 A : 品質特性定数, α : PVC定数,
 β : 可塑剤定数, γ : 炭酸カルシウム定数

この予測式を用いて品質予測を行ったところ、図15のように予測値と実測値が近似した。また、複数廃材種類を混入した場合でも、予測式に補正を行うことで図16のように近似した。

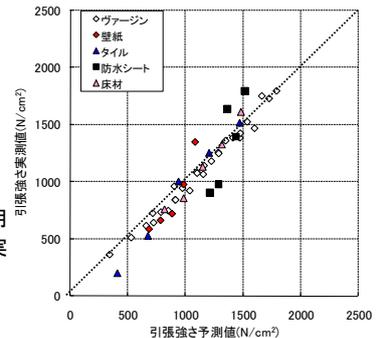


図15 品質予測式を用いた予測値と実測値の相関性

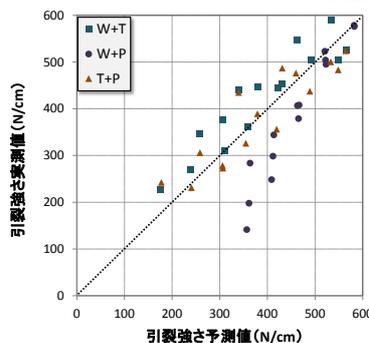


図16 品質予測式を用いた予測値と実測値の相関性（シリーズ2）

(5)まとめ

以上の研究により、廃塩ビ建材から得られる再生原料を用いて、再生樹脂シートの作成を可能とした。そして、その再生樹脂シートの基礎的な物性及び耐久性を明らかにした。また、廃材混入率（リサイクル率）が高くなると品質は低下し、製品としては廃材種類によるが40%程度のリサイクルが可能となるが、シートを複層製品にすることで品質、つまりリサイクル率の向上が見込まれることが分かった。また、再生樹脂シートの品質には廃材種類や混入率に関係性があり、本実験結果を取りまとめることで再生樹脂シートの品質予測を可能とした。これは再生樹脂シートの用途に合わせた配合設計が可能となる。

積層化の手法や経年劣化した廃棄物によるリサイクルなど、いくつかの課題は残るが、本研究成果は、塩ビ建材のリサイクル手法の確立の基盤となったといえる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計6件)

①金京錫, 小山明男, 菊池雅史, 西谷翔治, 山口晃平: 塩化ビニル系廃材を用いた再生樹脂シートの品質予測および配合手法に関する基礎的研究 (その7. 促進劣化試験による性状変化), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 1225-1226, 2012. 9. 12-14 査読無し

②西谷翔治, 小山明男, 菊池雅史, 金京錫, 山口晃平: 塩化ビニル系廃材を用いた再生樹脂シートの品質予測および配合手法に関する基礎的研究 (その8. 再生樹脂シートの複層化による品質改善), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 1227-1228, 2012. 9. 12-14 査読無し

③山口晃平, 小山明男, 菊池雅史: 再生塩化ビニル樹脂シートの耐久性および複層化による品質向上に関する基礎的研究, 日本建築仕上学会・大会学術講演会研究発表論文集, pp. 39-42, 2011. 10. 20 査読無し

④山口晃平, 小山明男, 菊池雅史: 塩化ビニル系廃材を用いた再生樹脂シートの品質予測および配合手法に関する基礎的研究 (その6. 加熱による性状変化), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 993-994, 2011. 8. 23-25 査読無し

⑤森本琢磨, 小山明男, 菊池雅史, 山口晃平: 塩化ビニル系廃材を用いた再生樹脂シートの品質予測および配合手法に関する基礎的研究 (その4. 耐久性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 561-562, 2010. 9. 9-11

査読無し

⑥山口晃平, 小山明男, 菊池雅史, 森本琢磨: 塩化ビニル系廃材を用いた再生樹脂シートの品質予測および配合手法に関する基礎的研究 (その5. 品質予測式の提案), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 561-562, 2010. 9. 9-11 査読無し

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等
<http://www.isc.meiji.ac.jp/~zaiken/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山明男 (KOYAMA AKIO)
明治大学・理工学部・教授
研究者番号: 90285099

(2) 研究分担者

菊池雅史 (KIKUCHI MASAFUMI)
明治大学・理工学部・教授
研究者番号: 90130806

(3) 連携研究者

()

研究者番号: