

遺産的建造物に使用された国内外産天然スレート屋根材の 持続的利用に向けたテクスチャー評価

DB20094 鎌田 理沙

1. はじめに

スレートは12世紀頃からヨーロッパで一般的な屋根材として使用されてきた。一方、日本では古来から天然スレートが硯などに用いられており、屋根材としては明治から大正、昭和初期にかけて使用され、遺産的建築物として今日まで残るものが多い。持続可能な天然スレートの供給については、国指定の重要文化財である場合、オーセンティシティ（真正性）を確保する必要がある。現存する遺産的建築物のオーセンティシティを確保するためには、天然スレート屋根の保存復元は重要な課題となっている。

そこで本研究では、海外産の天然スレート屋根材で代替可能なものか、材料の観点から判断することを目的とする。建築外観の印象は構成部材や外装材料に施されている表面加工などにより変化する²⁾。そこで本研究では、表面性状を特徴づけている色・つや・凹凸³⁾の3点に着目をした。研究1では色感とつや感については、各産地の明度等を数値化することでそれぞれの違いを明確にする。凹凸感についての数値化には、機械的な一断面から得られる2次元的情報である表面粗さの測定を行う。また、研究2と題して汚れ試験体からの汚れの採取や画像解析を行うことで、耐久性や表面性状に影響が出るのかの測定を行う。これらの実験から天然スレートの複雑で不均一な表面が産地ごとにどのような特性として表れているかを明らかにする。研究3では鉱物を含む試験体を用いて暴露試験をおこなうこととした。本研究では試験体初期値測定と試験体セットまでの報告とする。

2. 天然スレートの産地ごとにおける表面特性評価(研究1)

2.1 使用材料

今回報告する実験に用いた試料については、表1に示す国産から雄勝石(Jo)・登米石(Jt)の2種類、カナダ産からGlendyneの1種類(Cg)、スペイン産からVillar del Rey(Sv)・CUPA 10 excellence(Sc)・Del Carmen(Sd)の3種類、合計6種類を選定した。Del CarmenはNo.1~3まで、それ以外は1種類につきNo.1~6まで用意した。また、研究2では埼玉県飯能市での葺替え工事で採取した既存材を用いた。研究3では鉱物を含有している試験体を用意した。国産から雄勝石と登米石、スペイン産からCUPA 10 excellenceを用いたが、雄勝石のみ既存材となっている。

2.2 実験方法

表2に実験の要因と水準を示す。全ての実験における測定箇所を選定方法として、石目による段差を拾わずに汚れていない箇所を選定した。色感の数値化としてJIS Z 8729:2004に基づき色差計を使用した。使用した色差計はコニカミノルタ カラーリーダーCR-13である。次に、つや感の数値化には鏡面光沢度計を使用し、JIS Z 8741:1997の規定に基づき入射角20°と60°で測定を行った。使用した鏡面光沢度計はTASCOのグロスメートル(TA415GD)であり、光源はLED(波長890nm)・受光部は

SPD(シリコンフォトダイオード)である。測定面積は20°の時は4×3mmの楕円、60°のときは6×3mmの楕円である。どちらも測定箇所数としては2箇所とする。凹凸感の数値化として、表面粗さRaをJIS B 0601に基づき使用した。ミツトヨの小型表面粗さ測定器SJ-210を用いて測定。検出器退避タイプであり、検出器の測定力は4mNである。測定箇所の選定において、スレートの施工時はスレートの薄い方が上側になるためスレートの「上」とする方を見極め、下方向に流れる長手方向と、その直行方向を示す幅方向それぞれ9箇所を測定することを条件とした。

表1 実験に用いた天然スレート試料の概要(研究1.2.3)

試料名	記号	産地	寸法 (長さ mm×幅 mm ×厚さ mm)	枚数 (枚)	内容
研究 1 国内外産天然スレート屋根材の文化財建物採取材試験					
雄勝石	Jo	日本	300.33× 180.83×6.95	5	2011 年以前 採掘・保管品
登米石	Jt	日本	300.00× 182.17×6.06	5	石巻地区周辺 建物採取品
Glendyne	Cg	カナ ダ	300.17× 181.00×5.33	5	2015 年頃 採掘・輸入
Villar del Rey	Sv	スペ イン	300.67× 180.17×6.69	5	2019 年頃 採掘・輸入 現在製造不明
CUPA 10 excellence	Sc		300.00× 180.00×5.85	5	2019 年頃 採掘・輸入
Del Carmen	Sd		300.00× 200.00×4.71	3	2021 年頃 採掘・輸入
研究 2 国内産天然スレート屋根材の実使用建物採取材試験					
天然スレート 既存材	Jo	日本	---	3	埼玉県飯能市 築 30 年 2023 年 2 月採取
研究 3 国内外産天然スレート屋根材の鉱物含有材屋外暴露試験					
登米石	Jt	日本	303.00× 180.00×5.91	1	パイライト鉱物含有材
CUPA 10 excellence①	Sc	スペ イン	302.00× 180.00×5.56	1	パイライト鉱物含有材
CUPA 10 excellence②	Sc	スペ イン	301.00× 179.00×5.14	1	パイライト鉱物含有材
雄勝石①	Jo	日本	299.00× 180.00×5.70	1	パイライト鉱物含有材 (既存材)
雄勝石②	Jo	日本	301.00× 180.00×6.30	1	パイライト鉱物含有材 (既存材)

表2 実験の要因と水準(研究1)

要因	水準
研究1 国内外産天然スレート屋根材の文化財建物採取材試験	
スレート産地種類	雄勝産(Jo), 登米産(Jt), カナダ産(Cg), スペイン産(Sv, Sc, Sd)
色差	1試験体につき2箇所
鏡面光沢度(°)	20°, 60° (1試験体につきそれぞれ2箇所)
表面粗さ(μm)	長手方向(表面), 幅方向(表面) (1試験体につきそれぞれ9箇所)
研究2 国内産天然スレート屋根材の実使用建物採取材試験	
スレート産地種類	国産
画像解析	汚れ箇所全て測定 カビ汚れ/苔汚れ/土汚れ/錆汚れの4種類に 汚れを分類
研究3 国内外産天然スレート屋根材の鉱物含有材屋外暴露試験	
色差	1試験体につき2箇所 パイライト(黄銅鉱)/通常部分
表面粗さ(μm)	長手方向(表面), 幅方向(表面) パイライト(黄銅鉱)からの溶出部分

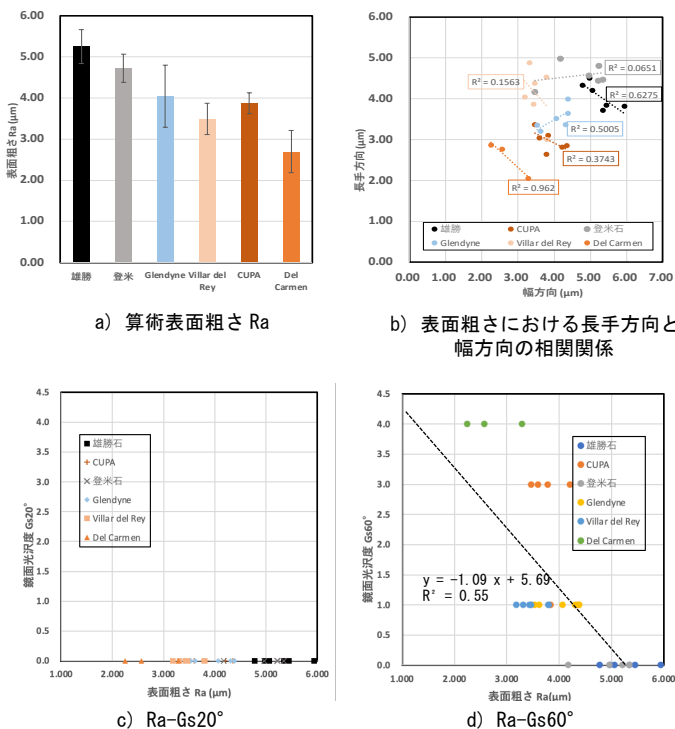


図1 天然スレートにおける表面粗さと光沢度 (研究1)

2.3 天然スレートの表面特性と関係づけた色彩値

図1のa)、b)に各試料の算術表面粗さ Ra 値と各試料における長手方向と幅方向の相関関係を、c)、d)に算術表面粗さ Ra 値と鏡面光沢度 20°、60° の関係を、図2のa)～f)に試料ごとの L*値、g)、h)に長手方向と幅方向それぞれの算術表面粗さ Ra 値と明度 L*値の関係、i)に a*値と b*値、j)に $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ から求めた C*の彩度と表面粗さの関係をそれぞれ示す。

図1のa)算術表面粗さ Ra を見ると、国産の2つが試料の中で大きい値となっている。本研究では、石目において長手方向と幅方向の存在を念頭に置き、それらの相関関係にも注目した。b)では、登米石に関しては相関がないため長手方向、幅方向という概念が存在しないことが分かる。c)d)では、入射角 20° であると光沢が全くないが 60° では多少のばらつきがあるが、表面粗さ値が小さいと光沢度が上がる傾向がある。図2のa)～f)の各試料の明度をもとに g)h)に長手方向と幅方向ごとの表面粗さ値と明度のグラフを示した。表面粗さ値が低いほど、明度は高い値を指している。i)にて a*b*を散布図に示したものは無彩色から青緑みの方向に分布している。j)の表面粗さと彩度 C*の関係のグラフでは表面の凹凸の影部が彩度の低下に影響しており、相関はやや右下がりを示しているが、明度よりも表面粗さとの関係は明確ではない。雄勝石は他の試料と比べて彩度の低い状態が多いと言える。

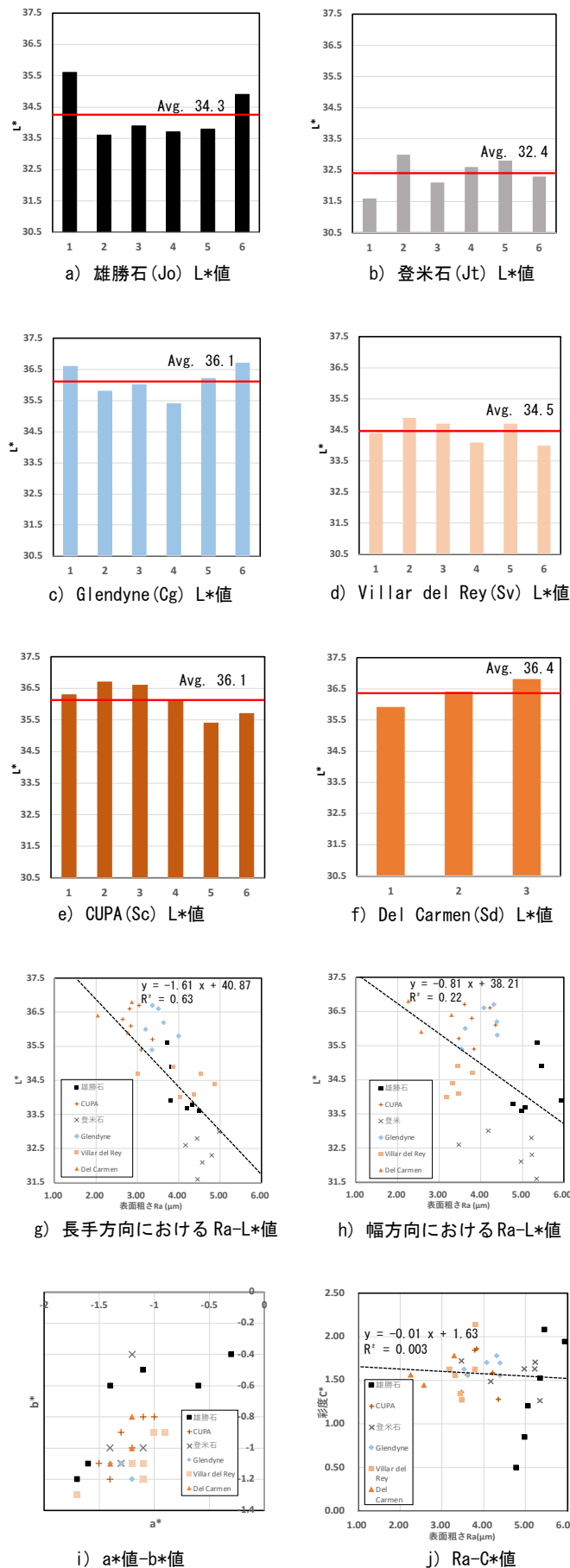
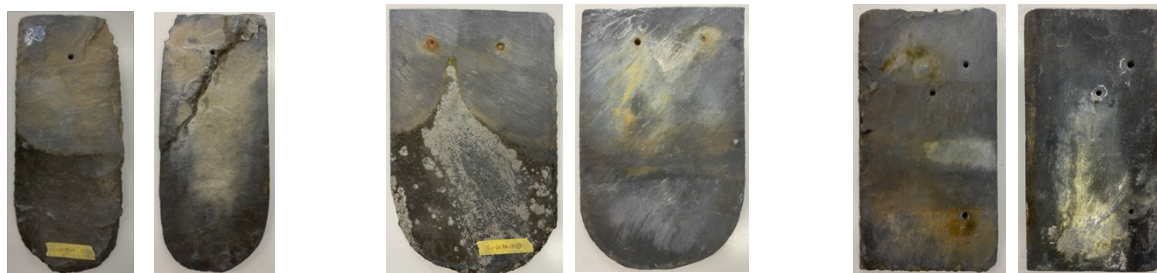


図2 天然スレートにおける色彩特性評価 (研究1)



a) 既存試験体 1 左：表面 右：裏面 b) 既存試験体 2 左：表面 右：裏面 c) 既存試験体 3 左：表面 右：裏面
写真 2 森の家から採取した既存試験体 (研究 2)

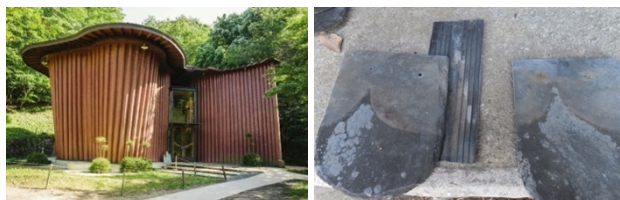
3. 天然スレート屋根用既存材の表面特性表評価 (研究 2)

3.1 天然スレート屋根用既存材の採取

研究 2 で行う汚れ分析では採取した既存材を用いて、汚れの画像解析をおこなう。既存材採取において、写真 1 の a) に示した埼玉県飯能市にあるトーベヤンソンあけぼの子どもの森公園の森の家 (以下、森の家) にて現地調査を行った。森の家は 1993 年に竣工されたが、陽の当たらない部分での雨水の溜まりや凍結の恐れからスレート落下の可能性があるとのもので、2023 年 2 月に落下を防ぐ為の葺替え工事が行われた。d) に葺替え工事の様子を示す。その際に写真 1 の b) に示した試験体を採取した。これを用いて研究 2 の実験を行うこととした。

3.2 天然スレート屋根用既存材の表面特性評価方法

本試験では、汚れ試験体の汚れを黒カビ汚れ・苔地衣類汚れ・錆汚れ・黄色カビ汚れの 4 種類に分類した。また、試験体において汚れごとに色分けをおこなった。黒カビ汚れを黒色、苔地衣類を緑色、錆汚れをオレンジ色、黄色カビ汚れを黄色とする。腐朽菌の繁殖は①養分②湿気③適度な温度④空気の条件によって変わり、常に乾燥状態にあったり、完全に水に浸かっているなど条件が変わると汚れの種類も異なるため、汚れ区分をこの 4 種類とした。これらに基づいた分類表を表 3 に示す。その色分けに基づき、画像解析ソフトウェア「ImageJ」を用いて、試験体全体面積と曝露面積、各汚れの面積を算出した。汚れの割合算出に関しては全体面積に対しての曝露面積割合を全体面積として算出することとする。



a) 森の家外観 b) 採取した試験体



c) パイライトを含んだ試験体 d) 葺替え工事の様子
写真 1 天然スレート屋根用既存材の採取場所と採取した試験体 (研究 2)

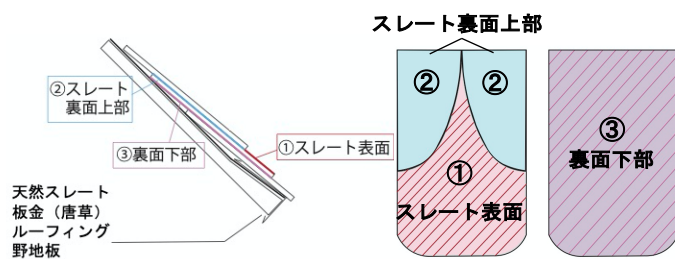
表 3 試験体に付着している汚れの分類

	汚れ種類	色	内容
A	苔汚れ	緑	継続的な雨水流れによる苔繁殖
B	黒カビ汚れ	黒	スレート重なりによる黒カビ繁殖
C	錆溶出汚れ	オレンジ	釘による釘穴からの錆溶出による錆汚れ
D	黄色カビ汚れ	黄	粘着層付ルーフィング等との接着による黄色カビ繁殖

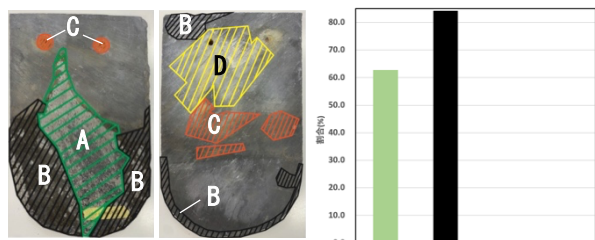
3.3 採取した汚れの画像解析結果

本試験で扱う既存試験体において汚れが顕著に現れているため、既存試験体 2 のみ画像解析をおこなった。4.2 にて示したとおり、腐朽菌は 4 つの条件によって変わるため、条件に基づき位置の分類をおこなった。①スレート表面汚れ、②スレート裏面上部汚れ、③裏面下部汚れに分類。図 3 には 3 枚重ね/鱗葺きにおける施工図とセクション分類を行った図を示す。

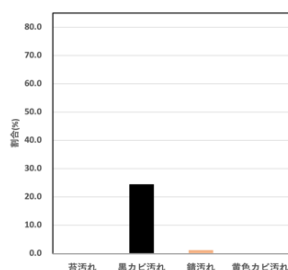
図 4 に既存試験体 2 における汚れ割合評価を示す。既存試験体 2 における解析範囲を図示したものを図 4 の a) に示した。色は表 3 に基づく。セクションごとに汚れの割合を算出し、グラフ化をおこなった。結果を図 4 の b) ~ d) に示す。b) に示した①のセクションでは、苔汚れ・黒カビ汚れが確認できた。苔汚れは主に①と②の境界部分に出現することが分かった。原因としては上から流れてきた雨水が境界部分で溜まりやすいことが考えられる。c) に示した②のセクションでは黒カビ汚れと錆汚れが確認できた。この部分ではスレート同士が重なるため、黒カビが発生しやすい。また、釘穴がこの部分にあるためそこから流れ出る錆が汚れの 1 つとなって現れたと推察される。d) に示した③のセクションでは黒カビ汚れ・錆汚れ・黄色カビ汚れが確認できた。近年では落下防止のために接着剤を用いることもあり、その部分に重なる③のセクションではカビ汚れが顕著に確認できた。既存試験体 3 でも黄色カビが確認できたが、黒カビの確認はできず、他の汚れとして釘穴から溶出した錆汚れのみ確認できた。既存試験体 1 では黒カビ汚れ・苔汚れ・錆汚れの確認ができた。



a) 3枚重ね/鱗葺き施工図 b) 汚れの位置のセクション
図3 汚れ位置の分類

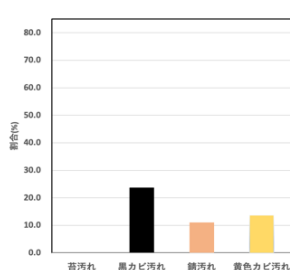


a) 既存試験体2の解析範囲



c) ②スレート裏面上部汚れ

b) ①スレート表面汚れ



d) ③裏面下部汚れ

図4 既存試験体2における汚れ割合評価

4. 天然スレート鉱物含有材屋外曝露試験(研究3)

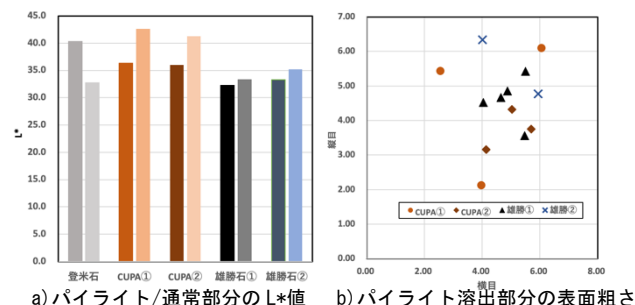
研究3ではパイライト(黄銅鉱)を含む試験体を屋外曝露し、パイライトから錆が溶出するか試験を行う。本論では試験体の初期値と曝露試験体の様子を報告する。使用する試験体を表1に、初期値測定方法については表2に示す。

曝露試験体の様子を写真3に示す。東京駅丸の内駅舎の屋根勾配30°と同じ条件で試験体セットをおこなった。また、図5に曝露試験体における表面特性の初期値を示す。

a)にパイライト部分と通常部分のL*値を示す。b)にパイライト溶出経路の表面粗さを示す。パイライトから溶出する錆の溶出経路部分の表面粗さを縦目と横目で測定をおこなった。登米石は特に粗かったため測定不可である。すでに錆がかなり溶出している登米石や雄勝石②に関しては、特に表面に粗さが現れていた。また、c)に通常部分のa*-b*値を、d)にパイライト部分のa*-b*値を示す。通常部分のa*-b*値は図2のi)の分布と類似しているが、パイライト部分は黄色が強く出ていることが確認できた。雄勝石は他に比べて赤方向にも分布しているため特に錆が出ていると考えられる。

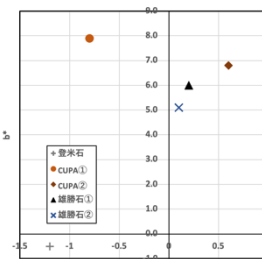


写真3 曝露試験体の様子

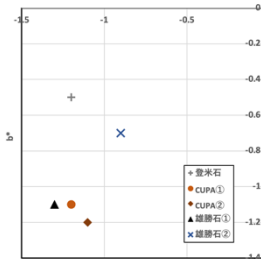


a) パイライト/通常部分のL*値

b) パイライト溶出部分の表面粗さ



c) 通常部分のa*-b*値



d) パイライト部分のa*-b*値

図5 曝露試験体における表面特性の初期値

5. まとめ

- (1) 表面の粗さが少なくなると明度L*が多少大きくなり、光沢も現れることが確認された。
- (2) 各試料の明度、彩度を見ると多少のバラつきがあるものの、明度においては国産の登米石と雄勝石は外国産よりも低い値であり、彩度において雄勝石はより無彩色に近いものである。
- (3) 研究2では汚れを大まかに4種類に分類することができた。場所によって発生しやすい汚れが分かれているため、他のスレートにおいても場所などから汚れの細分化を行うことが可能と考えられる。

謝辞

本研究は、工学院大学と有限会社熊谷産業の共同研究によるものであり、研究実施に際し、工学院大学総合研究所後藤治教授、熊谷産業金沢翔太氏、雄勝硯生産販売協同組合理事長 沖津俊一氏、事務局長 山下淳氏に助力を得ました。謝意を表します。

参考文献

- 1) 鎌田理沙ほか: 建築物のLCMにおける維持保全と保存の活用戦略 その20 天然スレート屋根材の表面粗さと光沢度の評価, 日本建築学会学術講演梗概集 p. 439-440 2023. 7
- 2) 土屋潤, 須長正治: 石材の視覚印象に及ぼす表面性状の影響に関する研究 その1 石材の深み感に関する基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 74, 第645号 pp1935-1940 2009. 11
- 3) 精密工学会誌/Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 82, No. 11, (2016) 944-947
- 4) 松山祐子ほか: 建築物のLCMにおける維持保全と保存の活用戦略 その19 天然スレートの国際市場状況と色調について, 日本建築学会学術講演梗概集 p. 437-438 2023. 7
- 5) 鎌田理沙ほか: 遺産的建造物に使用された国内外産天然スレート屋根材の持続的利用に向けたテクスチャー評価, 日本建築学会関東支部, 2024. 3