

# 苔紙の研究

和紙に苔を漉き込む、苔紙の研究開発

2010 年度 修士論文 山下研究室

渡辺 宣一

主査： 山下 秀之 長岡造形大学 教授

副査： 上野 裕治 長岡造形大学 教授

副査： 小川 一行 長岡造形大学 講師

## はじめに

湿潤な気候に恵まれた日本は、古くから苔が生育する環境にあった。植物とは異なる生態系の中にあつた苔は、その独特な表情が日本庭園などで好まれていた。しかし、その特殊な生態は謎に包まれた部分が多く、未だ「苔」の全貌は解明されていない。

そんな苔の持つ神秘的な美しさを建築で表現したい、そう思ったのが、本研究のきっかけである。

「苔紙」と題した本研究は、苔を和紙に漉き込む新たなマテリアルの研究開発をし、苔紙と環境建築のあり方を研究するものである。

## 研究の目的

- ・ 苔と和紙を組み合わせた、新たなマテリアルを開発する。
- ・ 苔紙による環境建築を提案する。







開発した苔紙\_和紙の繊維の隙間から、苔が生えている。

## 研究の背景

学部で研究した和紙 (fig.01) と、研究室のプロジェクトで関わった苔 (fig.02) を、組み合わせて研究する事が出来るのではないかと思います、苔の神秘的な美しさを建築に表現したいと感じた。



fig.01\_学部卒業設計「里山和紙工房」



fig.02\_牛の角付き大型案内板



# 1 苔と環境デザイン

苔の環境デザインの「特質」を明らかにする

## 1. 苔に関する基礎事項

### 1-1. 自然のコケ

沖縄県「屋久島」の宮之浦川の支流、白谷川の支流には「白谷雲水峡」がある (fig.03)。白谷雲水峡は、苔が、木肌、岩、倒木を飲み込むように覆い尽くしている。自然の中のコケが作り出す群造形は、美しいだけでなく、中には微生物が住み、初期の原始的な生態系を構成する役割がある。また、苔は、南極ツンドラのような、植物が育たない環境でも、群生が確認されている。

つまり、自然会におけるコケの群生は、生物が住むための初期の環境を作り出し、また、他の植物と比較した場合に、より広い範囲において、生育する可能性を持つと考えられる。



fig.03\_ 屋久島の苔  
[http://harumi-mi.at.webry.info/200504/article\\_3.html](http://harumi-mi.at.webry.info/200504/article_3.html)



fig.04\_ 南極ツンドラの苔  
<http://fotopus.com/naviblog/mizumoto3/2009/10/>

### 1-2. 苔の群生の特質

- a. 保水力に優れている。多くの苔は高い保水力を持っており、中には、自重の20倍もの水分を保有することのできる苔もある。
- b. 微生物のすみかとなっている。苔の中は、クマムシを代表とする、微生物のすみかとなっている。
- c. 環境浄化作用がある。苔は、腐食化の進行が極めてゆるやかであるため、炭素を固定化したまま堆積することがわかっている。また、特定のコケ植物が、重金属を体内に溜め込む性質があることが明らかになっている。



a. 保水力に優れている



b. 微生物が生息している  
<http://fotopus.com/naviblog/mizumoto3/2009/10/>



c. 金属を蓄積するコケ  
<http://fotopus.com/naviblog/mizumoto3/2009/10/>

### 1-3. 現代の生活上の苔庭

現代でも、コケ文化は日本の中に生き続け、庭を美しく彩っている。下の写真は、現代の苔庭の一例である (fig.05)。日本人にとって、苔は、いまだに特別なものであり、愛着を持って接している人は多い。苔庭の苔の群生は、一面を緑の絨毯で覆い尽くし、見るものに、生き生きとした生命力を感じさせてくれる。

一般的に、「苔むす」という言葉があるように、苔が生えるまでにはとても長い時間がかかるものとされている。そのため、庭の景観に苔があることによって、悠々の時を思わせる「寂」の世界を表現している。その一方で、形を変えずにいながらも、生命が生きている様を感じることができるのが、苔の魅力なのではないだろうか。



fig.05\_ 現代の苔庭 \_ 新発田夢ハウスの苔庭

コケは、1-2 で示したような特質を持ち合わせながら、他の似たような植物（芝生など）とは異なり、屋上などを緑化する場合、水分や養分を含む土壌が必ずしも必要なのではない。コケの場合は、湿度や温度、日照などの条件が揃えば、仮根が入っていけるような細かい隙間のある面であれば、そこに生育できる。

そのため、生育条件を整えた、細かい隙間のある面であれば、コケによって、上記のような「環境に有利な特質」を持ち合わせた、美しい緑面を構成することができると考える (fig.06)。



fig.06\_ 苔による美しい緑面 \_ 新発田夢ハウスの苔庭

## 2. 苔のデザイン

### 2-1. 伝統的な苔

日本庭園では、コケは、自然を表現する要素の一つとなっている (fig.07)。苔のデザインを考えてきたのは、日本人だけのようであり、他の国には、ここまで高度な苔の文化はみられないということである。これは、「日本が苔の生育に適した気候」であり、苔が非常にたくさん生育していたことが、深く関係しているものと考ええる。



fig.07\_西芳寺の苔群落

[harumi-mat.webry.info/200604/article\\_3.html](http://harumi-mat.webry.info/200604/article_3.html)

### 2-2. 現代的な苔

長い間伝統文化の中にあった苔は、近代になって緑化の方法として注目されている。下の写真は、東京と青山にある、プラダの外構デザインで、コケによって壁面が構成されている (fig.08)。

しかし、現在のコケ緑化工法は、どれもグラスウールやスタイロフォームなど、化学物質を含んでいるのが現状である。



fig.08\_プラダ ブティック 青山店の外構デザイン

[harumi-mat.webry.info/200604/article\\_3.html](http://harumi-mat.webry.info/200604/article_3.html)

### 苔の持つ自己相似性



fig.09\_京都 西園寺のコケ群落

[harumi-mat.webry.info/200604/article\\_3.html](http://harumi-mat.webry.info/200604/article_3.html)

上の写真は、「苔寺」として有名な、京都にある西芳寺のコケ群落を拡大したものである (fig.09)。一方、下の写真は、長岡造形大学、教員駐車場の木の根元の接写である (fig.10)。10 倍以上スケールに差があるが、両者は、似たような景観を持っている。苔の群造形が持つ景観は、部分と全体が相似形、つまり「自己相似性」を持っているといえる。



fig.10\_長岡造形大学の、教員駐車場の木の根元のコケ

### 自然をスケールダウンして楽しむ文化

日本には、自然を小さく模倣して楽しむ文化がある。「日本庭園」と「盆栽」である。「日本庭園」に自然の縮図が納められていることは言うまでもない。「苔」は、庭園全体の、地表面を覆うことで、草原や、低木類を抽象的に表現しているものとされている。

一方で、盆栽の苔も、草本類の植物を表現しているものとして、見ることができる。「日本庭園」も、「盆栽」も、コケで緑のグランドカバーを表現しており、また、スケールダウンした自然を楽しむという点で共通している。

もしかしたら、コケの群造形が持つ、「自己相似性」が、「日本庭園」や「盆栽」における、日本の苔文化の発展に関連があったのかもしれない。



自然

[http://harumi-mat.webry.info/200604/article\\_3.html](http://harumi-mat.webry.info/200604/article_3.html)



日本庭園

[harumi-mat.webry.info/200604/article\\_3.html](http://harumi-mat.webry.info/200604/article_3.html)



松の大名

<http://homepage2.nifty.com/kyusyuu7/okun06-700.htm>



盆栽

[http://blogimg.goo.ne.jp/user\\_image/7b/19/eb/9526f9dd6d3dddec2fac157d2b7276.jpg](http://blogimg.goo.ne.jp/user_image/7b/19/eb/9526f9dd6d3dddec2fac157d2b7276.jpg)



# 2 苔紙

「苔」と「和紙」を組み合わせた、「苔紙」を開発し、「苔紙の意義」を考察する

## 1. 「苔紙」とは

「苔紙」は、「苔」と「和紙」を組み合わせた、独自のコケ緑化素材を指す。「和紙」の原料に「苔」を混ぜて漉くことで、得られる紙のことを、「苔紙」と定義する。「苔紙」の特徴は、化学物質を含んでいないことで、土に還るものである。

## 2. 研究開発 A：作り方

条件

1. 苔紙から、コケが分離しない。
2. 乾燥させた後、シート状、あるいはロール状にして保管できる。
3. 生産の効率がよく、施工性もよい。

上記の条件を満たす苔紙を漉くために、右の2種類の製法を考えた。

### X：コケ漉き込み 製法と特徴



X-1. 和紙の原料とコケを混ぜる。 X-2[X-1]を、紙漉の技法で漉く。 X-3. 和紙の繊維とコケが絡み合う。

### Y：コケ敷き詰め 製法と特徴



Y-1. 桁にコケを敷き敷き詰める。 Y-2. 和紙の原料を上から流し込む。 Y-3. 裏返すと、コケが露出する。

## 3. 研究開発 B：生育実験

### 3-1. 屋内実験

目的

1. 苔紙の中だけで、苔が発芽し、その後、苔が成長するか。
2. どの種類の苔紙が、もっとも発芽するか。

実験内容

- ・「苔紙の厚さ・細かさ」などを変えた24種類の苔紙を用意した。
- ・24種類の苔紙を、アクリル板の上にのせて、発芽観測を行った。

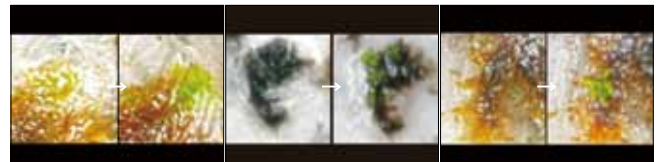


fig.11\_発芽前と発芽後の比較画像



fig.12\_実験開始 [in 0 weeks]



fig.13\_実験終了 [in 14 weeks]

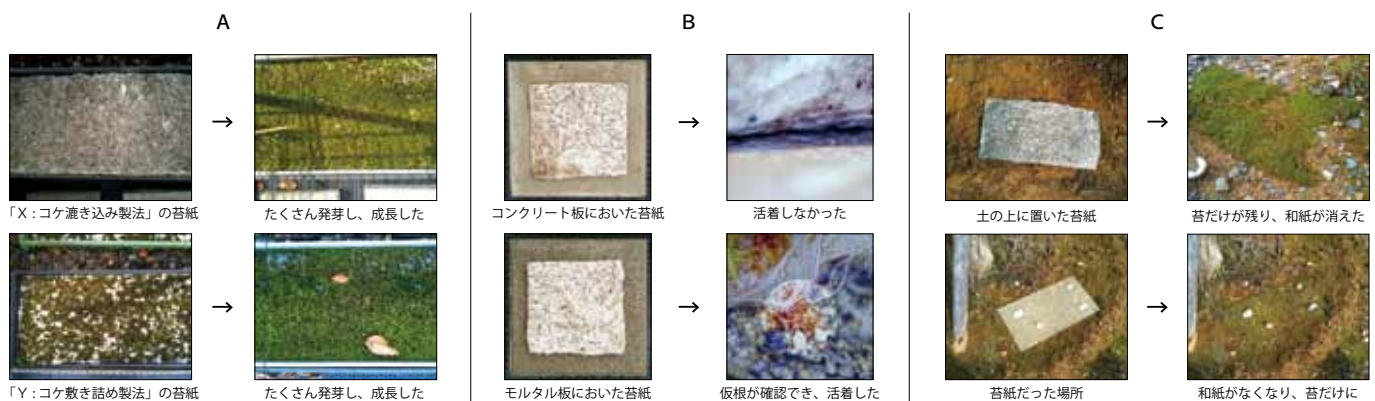
### 3-2. 屋外実験

目的

1. 苔紙が、屋外の環境で発芽するか。その後、成長するか。
2. コケが成長する過程で、依然として和紙がコケを保持できているか。
3. モルタルやコンクリートに、苔紙が活着するか。
4. 緑化が達成された段階で、役割を終えた和紙がなくなっているか。

実験内容

- A. 「X：コケ漉き込み製法」と「Y：コケ敷き詰め製法」の発芽状態を観察した。
- B. 「コンクリート板」と「モルタル板」における、苔紙の活着状態を観察した。
- C. 土の上に、直接置いた苔紙を観察した。





X-4. 乾燥させる。



X- 特徴 1. コケが均一に分布する。



X- 特徴 2. コケが閉じ込められる。



Y-4. 乾燥させる。



Y- 特徴 1. コケが、まばらになる。



Y- 特徴 2. コケが、はがれ落ちる。



乾燥させた苔紙は、ロールにできる

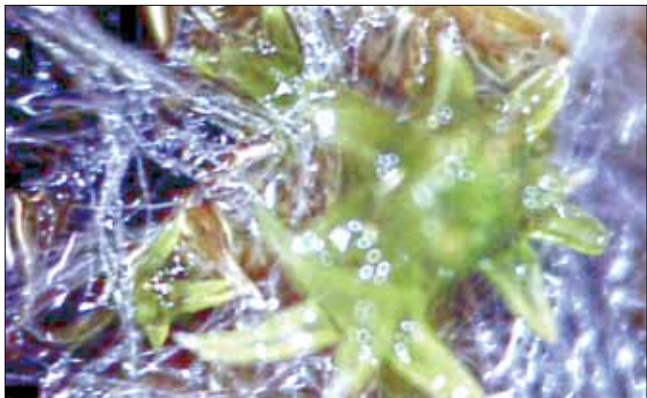


fig.14\_ 和紙の繊維の隙間から、発芽したコケの顕微鏡写真

## 実験結果

- ・屋内実験では、苔紙は平均して2週間ほどで、発芽した (fig.11-14)。
- ・コケを細かく裁断せず、かつ、苔の量を多くしたものが一番発芽した。
- ・発芽後、成長の様子を観察したが、途中で黒ずんで、枯れたようになってしまった。屋内実験装置での湿度と温度の管理がうまくいかず、苔の生育環境に適さなかったためと思われる。

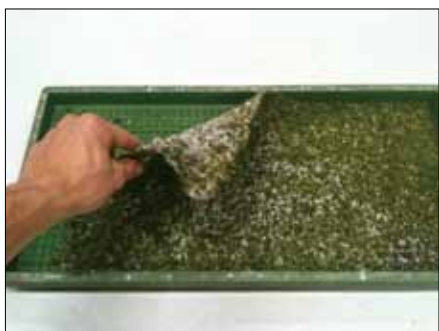


fig.15\_ 発芽・成長した苔紙を、パレットから外しているところ



fig.16\_ パレットから外しても、依然として和紙がコケを保持している



発芽・生育させた苔紙も、ロールにできた

## 実験結果

1. 苔紙は、屋外環境でも発芽し、成長した。
2. コケが成長する過程で、依然として和紙がコケを保持できた (fig.15-16)。
3. コケが活着できる下地であれば、苔紙でコケ緑化できた。
4. 緑化が達成された段階で、役割を終えた和紙がなくなった。



苔紙生育実験\_屋内実験装置

屋内での苔紙の生育実験装置 (fig.17)。主に発芽の観測を目的としている。プログラムタイマーにより、揚水ポンプと植物育成用の蛍光灯を管理しており、定期的にドリップ式給水器から、アクリルプレートに乗せた苔紙 (fig.18) に給水するシステムとなっている (fig.19)。これにより、ほぼ全自動で、苔の発芽観測を行う環境を構築した。

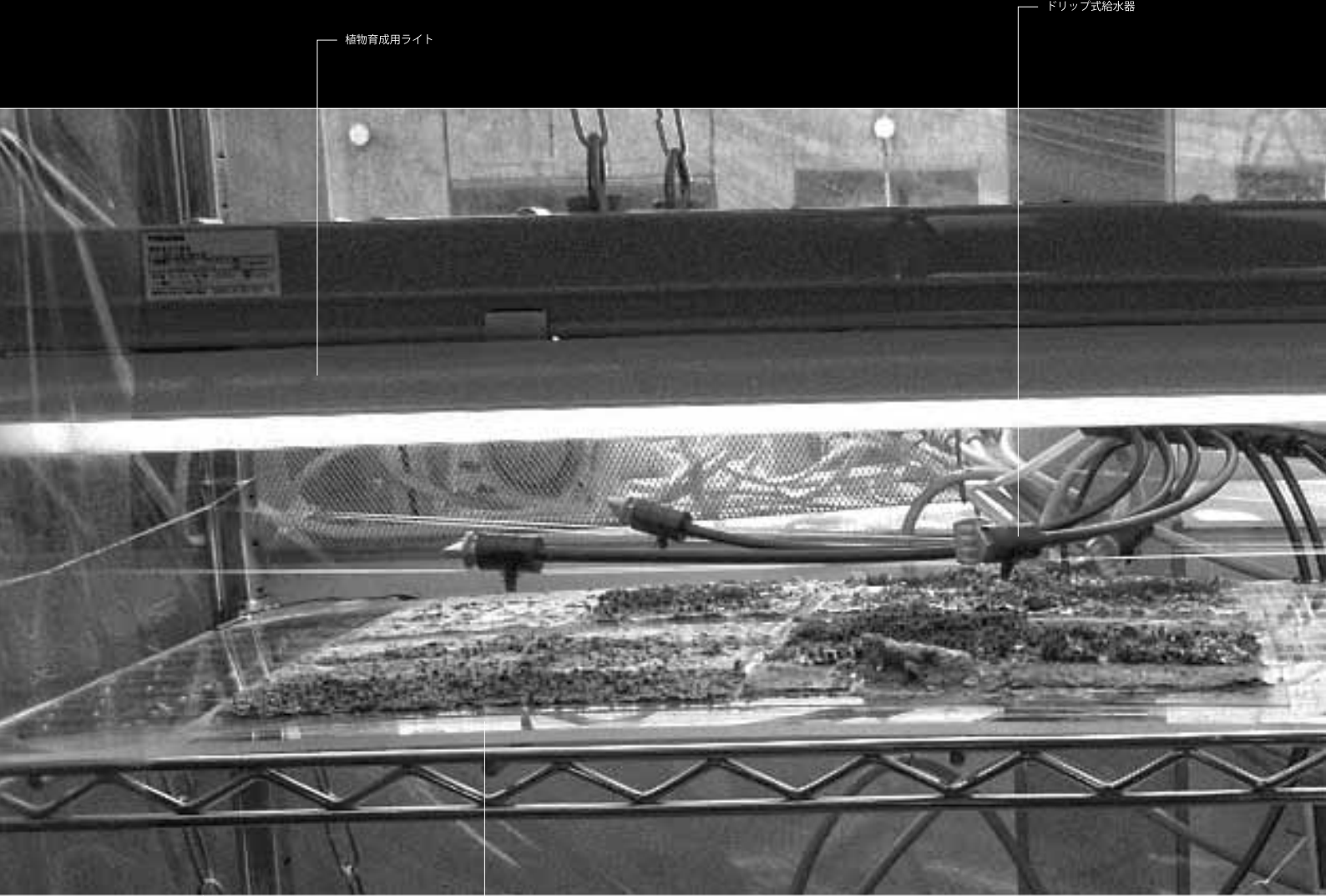


fig.17\_ 屋内実験装置

サイズ : D915 W355 H1565  
3層  
苔紙の枚数 : 48 枚+パレット 2 枚  
給水の方式 : ドリップ式

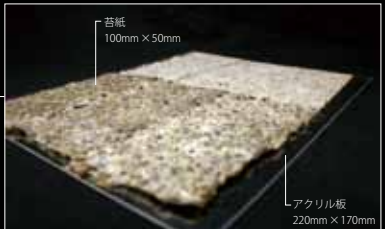
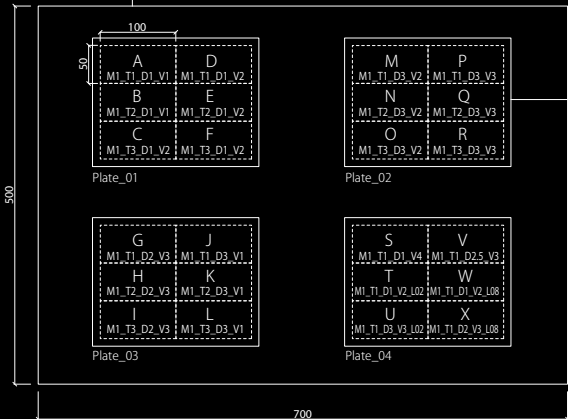


fig.18\_ アクリル板と苔紙

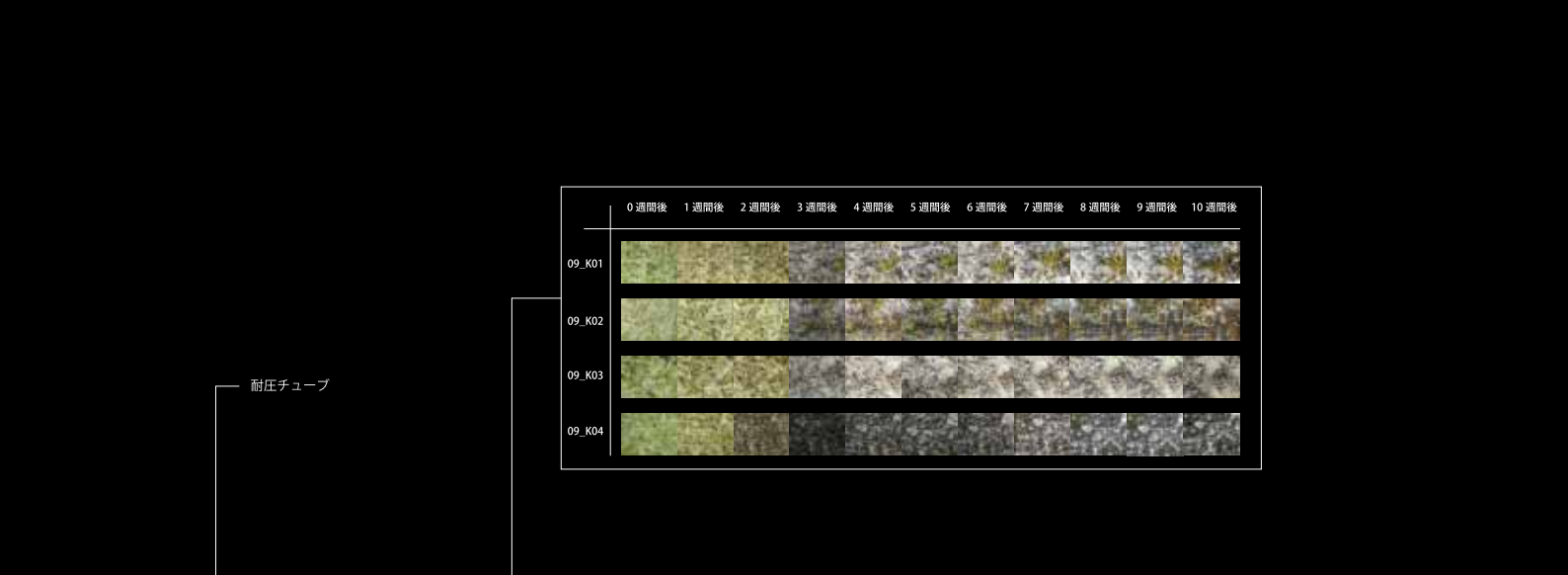
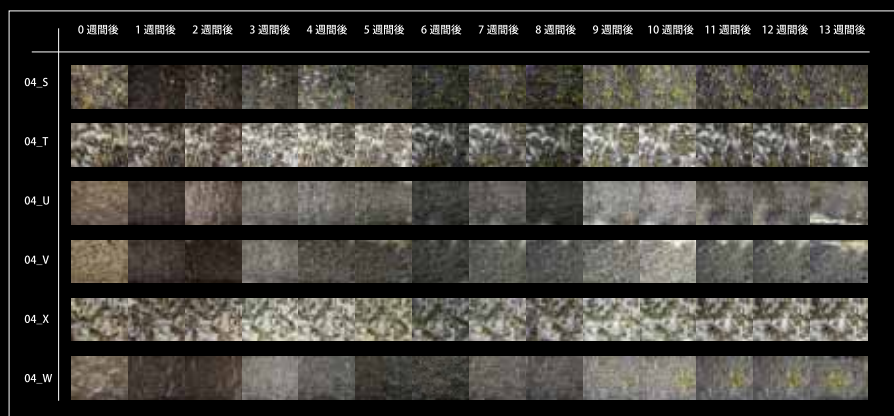


fig.19\_ 屋内生育実験装置の内部





# 3

## コケガミック・アーキテクチャー

苔紙の意義を体現する、環境建築のモデルを提案する。

環境共生や生物多様性の観点からみれば、日本の文化は、西洋文明とは対極にあり、「実は未来を見据えていた文化」だと言える。それは、今日で考えるならば、建築と自然を融合させることでもある。この研究では、その方法を、コケガミック・アーキテクチャーに期待するものである。

### 1. 「苔紙」による緑化

#### 1-1. 苔紙で緑化をするためのデザイン

コケガミック・アーキテクチャーは、「苔紙によって緑化されたデザイン」である。ゆえに、造形的な特徴を持つ。その特徴は、苔紙によって、「表面を緑化する」ことにある。

苔紙は、「建築」「土木」「荒れた自然」、あるいは様々な「モノ」を緑化できる可能性を持っている。特に、「建築」「土木」の分野においては、苔紙が剥離しないために、建築の壁面や、護岸が「角度」を持っていることが重要である (fig.20)。

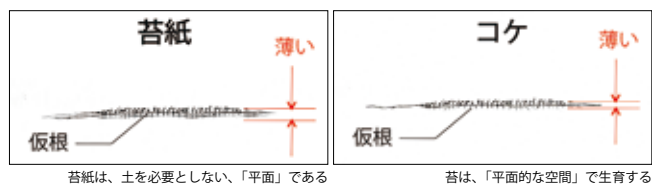
#### 1-2. 苔紙で建築の壁面を緑化する

上述の苔紙の使い方のうち、「壁面を緑化する方法」に着目した。苔紙を具体的な緑化素材として応用する。その際に、苔紙を壁面として仕上げるための、有効なデザインを研究した。苔紙を壁面とする理由は、視界における緑化面の面積を大きくするためである。

#### 1-3. 苔紙緑化面の「角度」に着目

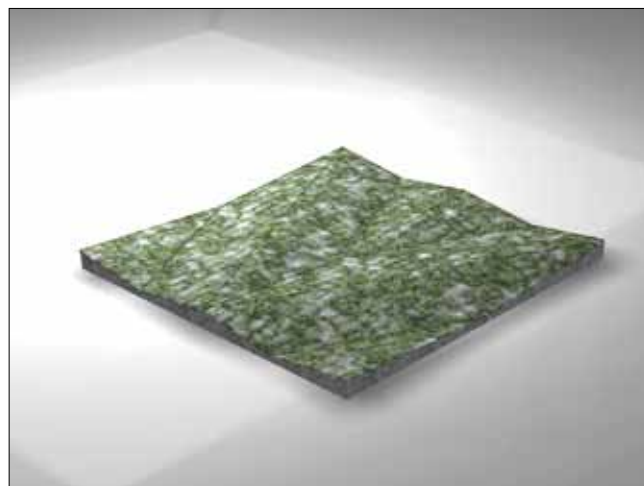
左の写真のコケ (牛の角付き大型案内板のコケ) は、巨大な球体に貼り付いている。3年経過後の様子をみると、垂直に近い箇所ほど、コケが著しく剥離している (fig.21-22)。剥離箇所と剥離していない箇所を調査し、苔紙を建築の壁面として仕上げた場合でも、コケが剥離しない条件を研究した。

右のような調査のから、水平面からの傾斜が、約  $60^{\circ}$  以内の面であれば、コケが剥離しにくいことがわかった (fig.23-24)。この角度をもとに、角度を持つ面を、繰り返し登場させるために、折り紙の幾何学に着目した。その目的は、ユニット化、汎用性の向上、産業規格化である。





苔紙の思想を表現する「コケガミック・アーキテクチャー」のイメージ



軽石に、苔紙によって、苔を繁茂させるイメージ

## 2. 折り紙の幾何学



折り紙は平面の幾何学

「折る」ことで立体となる

薄いながらも立体性を保っている

上図の通り、抽象的な折り紙は、平面の幾何学を「折る」ことで、立体の幾何学を形作っている。

重要なことは、この折り紙が、平面的でありながらも、角度を持つ、ヒダ状の面の集合体になっていることである。抽象的な折り紙には、「鶴」のような具象的な折り紙とは異なり、抽象的かつ、規則的なパターンが現れてくることに特徴がある。

そして、折ることによってできる、「微妙な角度」や「凹凸の浅深」など、「全体の造形的な美しさ」に着目し、コケガミック・アーキテクチャーに応用できないかと考察した (fig.25-26)。

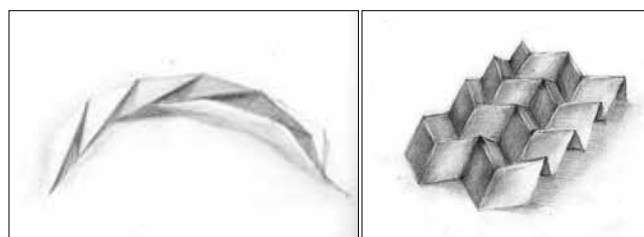


fig.25\_ スケッチを重ね、折り目の考察をした

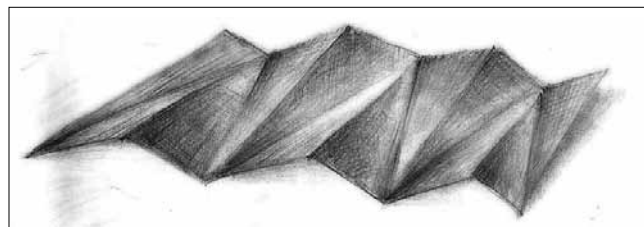


fig.26\_ 抽象的な折り紙のスケッチ

### 折り方のスタディ



アーチ状

うねり

互い違い

噛み合わせる

ひねってみた

ねじってみた

平行四辺形と対角線

鱗のような紋様

ジグザグの集合体





### 3. 最終的なデザインを建築のカーテンウォールとして応用した場合

様々な折り方を研究した中から、最終的に、「上向きの面」と「下向きの面」が交互に現れる折り方に、デザインとしての可能性を見いだした (fig.27)。

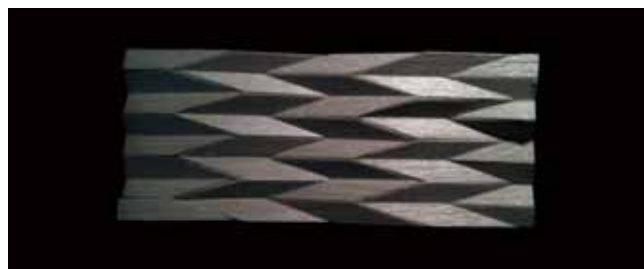


fig.27\_最終的に決定した折り方

また、「苔紙緑化面」と「ガラス窓」は、互い違いに配置する。こうすることで、「苔紙緑化面」を上方向に傾け、日照・給水を受けやすくするとともに、苔紙の剥離を防止する目的がある。一方、「ガラス窓」は常に下方向に傾いているので、太陽光が入り込みにくく、結果、空調負荷の軽減につながっている (fig.28)。

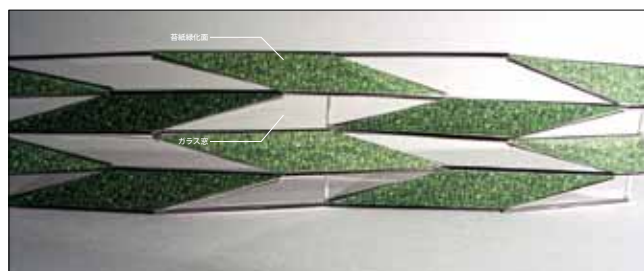


fig.28\_「苔紙緑化面」と「ガラス窓」は、互い違いに配置されている

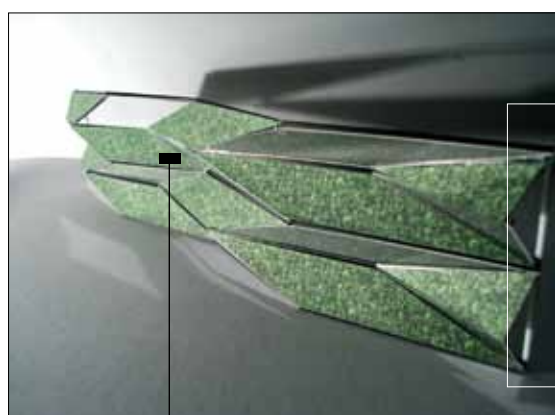
垂直方向に割り付けた場合、苔が剥がれ落ちやすいことが予想される (fig.29)。今回取り上げた折り方をベースにした割り付け方では、傾斜 60°の面が繰り返し現れるため、苔が剥がれ落ちにくいと考える (fig.30)。



fig.29\_教員棟壁面へのモンタージュ\_垂直方向に割り付けた (左)  
fig.30\_水平方向に割り付けた (右)



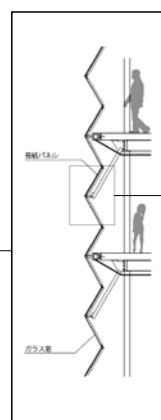
fig.31\_微生物もバクテリアも生きている「苔むす地表面」は、「コケガミック・アーキテクチャー」に連続する。そして、その先には、ネットワークに繋がった人間社会がある。



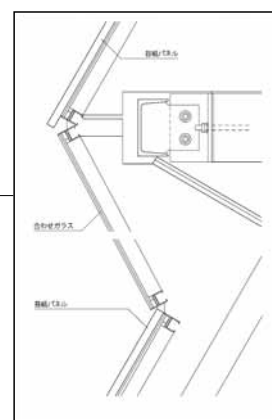
苔紙によって、苔が繁茂する、建築のカーテンウォール



苔紙パネルには、植物も微生物も生きている



断面図



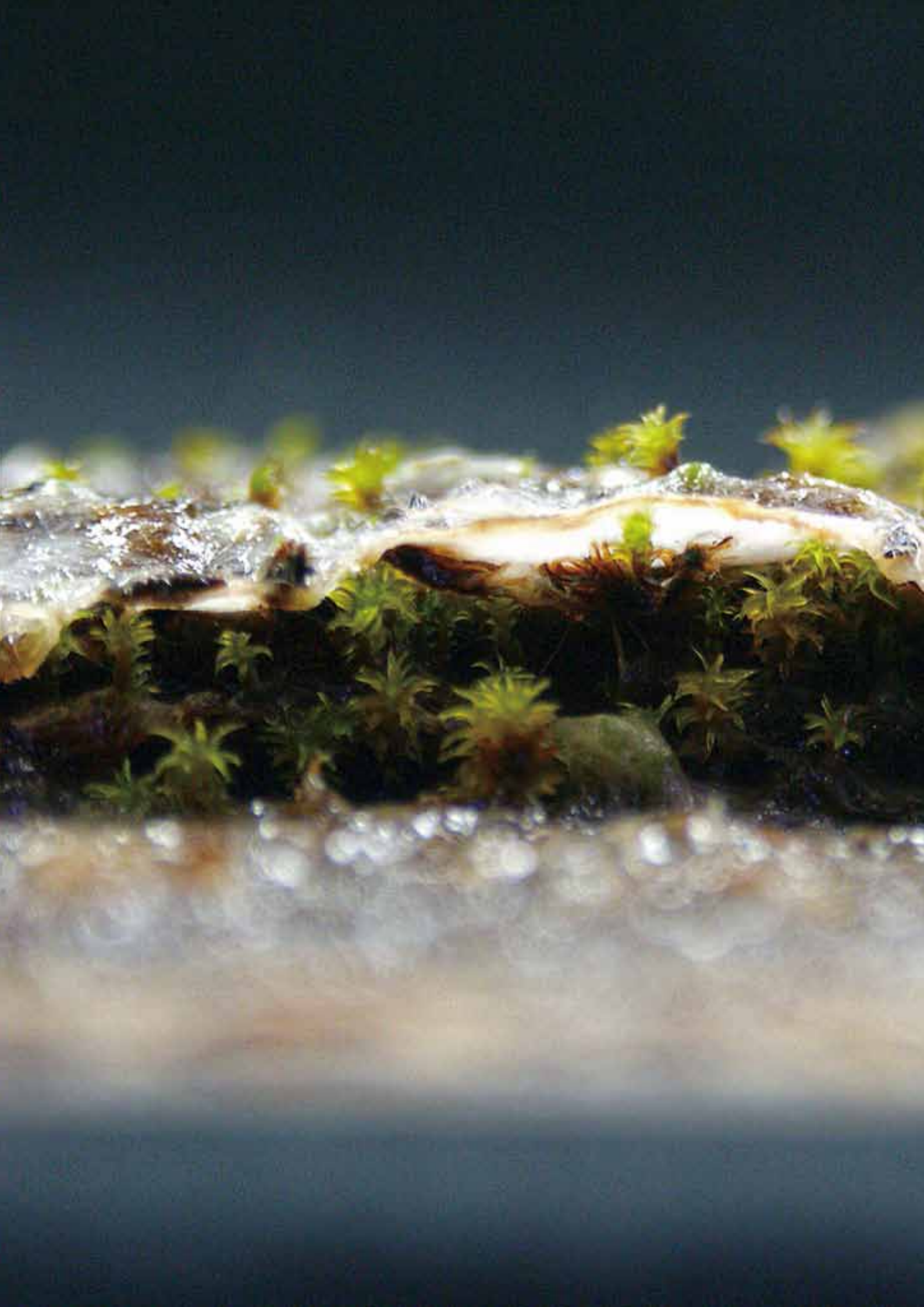
詳細図\_苔紙パネル

### コケガミック・アーキテクチャーのヴィジョン

コケガミック・アーキテクチャーのヴィジョンは、人工物と自然物が、ブレンディングしているあり方を追求するものである。

微生物もバクテリアも生きている「苔むす地表面」は、「コケガミック・アーキテクチャー」に連続する。そして、その先には、ネットワークに繋がった人間社会がある (fig.31)。







#### おわりに

私は苔紙の研究を通して、かつての日本の社会、産業構造が持続可能なものであったことを再認識した。特に、紙漉などの伝統産業は、それらを生業とすることで、上手に自然と共生する道を歩んでいた。

「苔紙」は、かつての日本列島がそうであったように、環境との共生の思想を、再び現代に呼び戻そうとするものである。