

NIKKEI ARCHITECTURE

「小松精練 ファブリック・ラボラトリー「fa-bo(ファーボ)」旧本社棟改修プロジェクト」
炭素繊維が実現する未来のしなやかな耐震補強

隈研吾氏が語る
“建材としての可能性”

日本製の炭素繊維は世界市場で約7割のシェアを占め、日本の国際競争力強化の一翼を担っている。石川県能美市で、この炭素繊維素材を耐震補強に使う試みが行われた。隈研吾氏ほか、共同による小松精練・旧本社改修プロジェクトだ。

—今回、小松精練の熱可塑性炭素繊維複合材「CABKOMA スtrandロッド」を耐震補強材に用いた「ファーボ」のプロジェクトに関わり、炭素繊維素材にどのような印象を持たれたのでしょうか。

隈 私は、これからの建築素材は、剛から柔へ移行していくと考えています。住居の歴史をさかのぼると、原始的な住まいは柔らかい素材を織り上げてつくられていました。19世紀ドイツやオーストリアで活躍した建築理論家ゴットフリート・ゼンパー氏*1は、ひもとひもとを結んで布を織り上げる行為に、建築の本質を見いだそうとしていました。

20世紀に入ると、彼の考えと裏腹に、鉄とRCのモダニズム建築が世界を席巻しましたが、それは、つくりやすさ、合理性を優先した結果にすぎなかったのです。様々な民族的建物を探り、帰着したゼンパーの「建築を織る」考え方は、脱工業化社会の今日、非常に示唆的で、私も鉄やRCの時代から、再び、柔らかい素材で建築を織る時代になると考えています。その素材として注目したのが炭素繊維でした。繊維的なしなやかさだけでなく強度も兼ね備えている。

—プロジェクトに関わったきっかけは。

隈 まず、東北の震災復興施設の屋根が小松精練の保水セラミックスパネル「グリーンビス」で敷設されているのを見たことが最初のきっかけです。「グリーンビス」は繊維的な柔らかさがあり、多孔質の独特の風合いも面白い。何より軽量で、これを張ることで建築の耐久性が向上し、建物が緑をまとうための

日本の繊維技術がつくる未来の素材「炭素繊維複合材」



隈
建築家
東京大学教授
研
interview
吾
氏

究極の増築素材だと直感しました。私のプロジェクトでも「グリーンビス」を採用し、小松精練を訪問したとき、中山賢一会長から、カーボンロッドを撚った新素材を紹介され、旧本社(現・ファーボ)の耐震改修に使えないかと相談されたのです。構造家の江尻憲泰氏と話を進めるなかで、鉄のブレースによる無骨な耐震補強だけでなく、建物に繊細なレースをかけるように、建築をよりエレガントにする構造補強が「CABKOMA スtrandロッド」で可能になるという確信を得ました。

—炭素繊維ロッドを耐震補強材に活用するのは、世界的にもユニークなのは。

隈 建築関連で炭素繊維は家具に使われる例はありましたが、耐震性と意匠性を高めた「ファーボ」は、建築改修の事例とし

ては“世界初”と言っていいでしょう。

ただ、実験建築に炭素ロッド素材が使われた好例として、アキム・メンゲス氏*2が、この数年、手掛けているシュツットガルト大学ITKEリサーチ・バビリオンには衝撃を受けた。柔軟なカーボンロッドを、ロボットアームが編み機のように編んで、構造的に自立する構築物をつくっていた。繊維は編む行為を繰り返すことで強度が高まります。同じ動きの繰り返しはロボットが得意なので、その特性を生かして建てたバビリオンです。ゼンパー氏が考えた編む建築の21世紀モデルが、メンゲス氏のプロジェクトだと思いました。

同じディテールを繰り返すことで強さを出す「ファーボ」外周の耐震補強も繊維的な考え方で、民族的でもあり、鉄やRCの

耐震性と高い意匠性を同時に実現、エレガントな耐震補強
単純な剛体の強さとは全く違う種類の強さです。太く重い鉄は用途が限られますが、炭素繊維の強さは何にでも使える。家具から土木まで、ここまでレンジの広い構造材はありませんでした。木材のような柔らかい材料とも好相性で、木のしなやかさ、優しさを失うことなく、構造的により強固になり、魅力的な組み合わせだと思います。

—インテリアの見どころは？

隈 「グリーンビス」をテーブル天板に使い、植物を卓上に植えたり、空調ダクトにブリーツ加工した筒状の布を使い、内部空間に張り巡らせ、冷気や暖気が繊維製のダクトから自然に漏れ出す仕組みも採用しました。これは未来の空調ダクトのスタンダードになる予感がしています。

布は織ること自体が構造的で、布の厚みの中に三次元的なストラクチャーがあり、繊維の種類を組み合わせや密度で強度が生まれる。繊維から建築に近づく可能性もある。私たちが建築の定義を変えることで、新たな繊維の開発も進むかもしれません。

—小松精練への今後の期待は？

隈 世界的に評価されている染色の周辺技術で、未知の素材開発に挑戦する姿勢に感銘を受けました。もともと繊維技術は日本人の感性に合っていて、美しいものをつくるだけでなく、新たな機能を生み出すことは日本人の得意分野。小松精練のような企業が世界で勝負できる日本製品をつくっていくのだと思う。小松精練には炭素繊維の分野でも、日本独自の技術が紡ぎ出す新素材を世界に売り込む先鞭になってほしいと思います。

*1: ゴットフリート・ゼンパー / Gottfried Semper (1803~1879)。ドイツの建築家、建築理論家。古典主義建築を学び、古代遺跡の実測調査なども行う。代表作にドレスデン宮廷歌劇場、ウィーン宮廷劇場。隈氏は著書「小さな建築」(岩波新書)でゼンパーの業績に言及

*2: アキム・メンゲス / Achim Menges (1975~)。Prof. AA Dipl. (Hons), RIBA II, Architect BDA。ドイツ・シュツットガルト大学教授。2012年より同大学で炭素繊維を使った実験建築のプロジェクトに関わる

Evaluation of CABKOMA

「ファブリック・ラボラトリー「ファーボ」」× 耐震補強に採用された炭素繊維複合材



熱可塑性炭素繊維複合材 「ストランドロッド」

CABKOMA カボコーマ



「CABKOMA ストランドロッド」を巻き取ったロール。約160mで12kgと軽量で、手で持ち運びができる。同等の強度を持つメタルワイヤなら約5倍の重量になる

炭素繊維(ポリアクリロニトリル系炭素繊維)は、日本製が世界の約70%のシェアを占めるなど、日本の炭素繊維複合材技術の評価は世界的にも高い。先端技術を有する日本の炭素繊維産業は、これからの国際競争力強化の切り札としても注目されている。

炭素繊維の特徴は、軽さ(比重は鉄の約4分の1)、強さ(引張り強度/比重が鉄の約10倍)、錆びない、X線透過性、耐薬品性、耐熱性、極低温性が高いなどが挙げられる。既に炭素繊維の活用が進む航空宇宙産業、風力発電などの市場拡大のほか、建築業をはじめ新規市場のポテンシャルもあり、今後、欧米のみならず

、アジアでの需要増が見込まれる素材と言える。

炭素繊維複合材を建築に

日本の建築分野では、清水建設の「シミズSR-CF工法」など、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)シートを用いたRC造の補修補強用途で広く知られており、強度、素材安定性、施工性の良さを考えると、今後、新設建築部材として用途拡大が期待されている。

今回のファブリック・ラボラトリー「ファーボ」に採用された「CABKOMA ストランドロッド」は柔軟なロッド状の炭素繊維複合材。芯材となる炭素繊維の束の周りを、合成繊維の組ひもで覆った「芯鞘構造」を持ち、炭素繊維の束に緩やかな撓り(ストランド)を加えることで曲げ強度を向上、建築施工に適した特性を持つ。炭素繊維は引張り強度に優れるがせん断には弱い。この弱点を芯鞘構造で克服、ワイヤケーブル様に巻き取れる柔軟性があり、束ねたロールは約12kgと非常に軽量だ(同等

被膜材のバリエーションと機械的強度の比較 [カボコーマ: CF24K×7本撚(よ)り線]

水準	径 (mm)	断面積 (mm ²)	重量 (g/m)	耐力[引張り] (kN)	単位面積当たりの耐力 (kN/mm ²)	燃焼性
カボコーマ(ガラス) [ストランドロッド]	5.83	26.7	47.3	38.22	1.43	難燃性
カボコーマ(アラミド)	5.18	21.1	30.5	38.08	1.81	難燃性
ワイヤ	6.00	28.3	222	5.67	0.20	—

※今回のプロジェクトでは直径9ミリの「CABKOMA ストランドロッド」を使用。数値は保証値ではなく実測値

「CABKOMA ストランドロッド」と鉄製ワイヤの比較。右写真のストランドロッドと鉄筋はほぼ同強度。小松精練では2010年から「CABKOMA」開発に着手、「いしかわ次世代産業創造ファンド事業」に採択され、2012年度からは経済産業省「先端技術実証・評価設備費等補助金」を受けて、研究開発を進めていた



新素材に挑む現場01

施工担当者 VOICE — 「CABKOMA ストランドロッド」の施工

メリットは“軽量でハンドリングが容易”なこと～現場の作業負担軽減・工期短縮に貢献



清水建設株式会社 北陸支店 建築部 副部長 東海 幸一 氏

にヤードを整備して、品質が確保できる量産体制を整える必要があった。同時に、未知の素材に挑戦し、試行錯誤のなかで新しい施工方法に挑む喜びもあった。

外装に使われるロッドは約15mで炭素繊維自体は約1.4kgと非常に軽量だ。実際の現場施工での大量の取り付け作業は、「CABKOMA ストランドロッド」の軽さが奏功し、予想以上の高効率で作業が

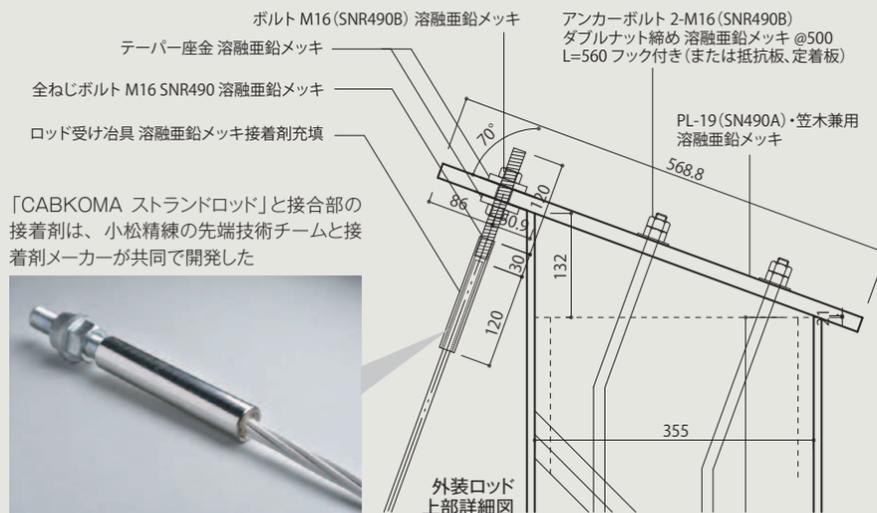
進んだ。同程度の強度を持つ鋼材やPC鋼線の場合は現場に揚重機が必要になるが、「CABKOMA」は階段で人力により持ち運ぶことができる。作業環境の厳しい現場や資材を運びづらい現場では、そのハンドリングの良さが生かされると思う。

RC造の建物の耐震改修にロッド状の炭素繊維複合材を使うのは、過去に例はない。その施工に関わることができた

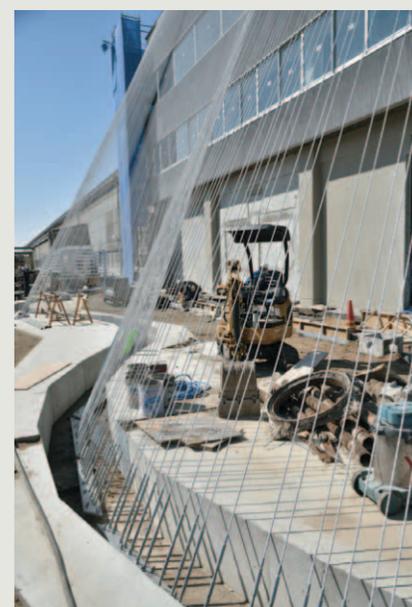
経験は大きい。建築材料として認可されるためには実績をつくらなければならない。その第一歩に施工者として参加できたことは貴重な経験であった。(談)

炭素繊維複合材のロッドは初めて扱う素材なので、施工までの準備に時間が必要だった。施工の一番のポイントはRC造の躯体と「ストランドロッド」をどう接続するか。接合部のディテールを決めるため、設計チームや小松精練の担当者と打ち合わせを重ね、引張試験を行い、原寸モデルやBIMの3Dモデルで検討も行った。躯体とロッドの間には、取り付け用鋼材フレームがあり、そのディテールの検証にも時間を要した。

また、今回は合計4000本以上のロッドを接合部に接着する、通常の工事にはない工程があり、小松精練の工場の一角



「CABKOMA ストランドロッド」と接合部の接着剤は、小松精練の先端技術チームと接着剤メーカーが共同で開発した



「ストランドロッド」取り付け工事の脚元の様子。非常に軽量なので揚重機も不要。最終的には1日60本ペースの設置で施工が進められた

「ストランドロッド」の可能性

軽い
比重1.8
鉄の1/4

強い
強度は
鉄の約10倍

錆びない
耐久性に優れ
メンテナンスも楽

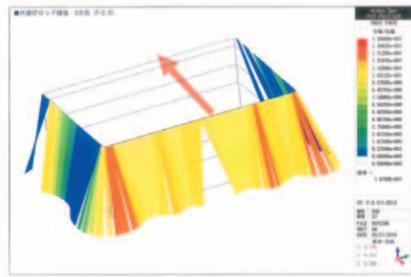
| Material×Inspection | 「CABKOMA ストランドロッド」による補強効果 |

● 外装 | ストランドロッドによるドレープ

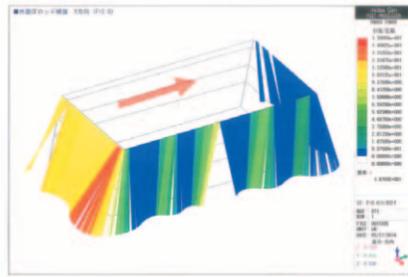


ファブリック・ラボラトリー「ファーボ」
完成予想パース図

ロッドの影響の検証



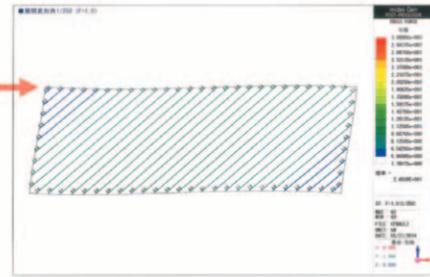
X方向地震時のロッド負担引張り力



Y方向地震時のロッド負担引張り力

● 内装 | 格子状に組んだロッドのブレース壁

ロッドの影響の検証



層間変形角1/250のブレース応力

建物が傾くと反対方向のロッドが引張り変形を抑える。建物全体の耐震補強の強度関係から見ると、外観のドレープは約3%、内部の耐力壁フレームは約10%の強度が出せるように設計した。接合部の強度もその設定に合わせ、全体のデザインのバランスを考えて設計された(約40kN/本)。さらに強度を高めることも可能だという

の強度を持つ金属のワイヤは約60kg)。建築材料に求められる強度は、石川県工業試験場が試験評価を行った。

熱可塑性炭素繊維複合材の用途

小松精練の炭素繊維複合材「CABKOMA」には熱可塑性樹脂が含浸されており、熱成形や加工が容易で、成形品の圧

縮強度も強い。常温で保管できて、切り落とした端材は再利用も可能だ。炭素繊維に熱可塑性樹脂を均等に含浸させる難関の工程で、小松精練独自の染色や薄膜の技術が生かされた。シート状に成形された「CABKOMA」は、コンクリート柱や鉄柱に巻きつけ柱脚補強に、プレート状に成形されたものは、土木の地中アン

カーのプレートや産業用ジャッキプレートへの利活用が進んでいる。また、しなやかで軽い性質は木材との相性も良く、木材のたわみ低減のための補強プレートなどにも使われている。

次なるステップは、前述の通り、建築部門への参入で、新設建築部材の許認可が大きな目標となる。軽く強い炭素繊維

は、建築の強度向上だけでなく、建設現場の省力化、省エネ化、高層建築や都心密集地での施工性の向上にも貢献できる。

「CABKOMA」の被覆材開発には石川県伝統の組みひも技術を応用。被覆材の素材にはガラス、アラミド繊維が使われているが、被覆材の樹脂は用途に応じ変更することも可能だ。

新素材に挑む現場02

構造担当者 VOICE — 「CABKOMA ストランドロッド」の設計

求められる性能とデザインに合わせて接合部を設計～炭素繊維の可能性



有限会社
江尻建築構造
設計事務所
江尻 憲泰 氏

要素として採用することを決めた。

非常に強度が高い素材なので、本来なら建物を全面的に補強できる性能があるが、この施工では基本的な耐震補強は在来型の工法に任せ、炭素繊維は耐震性能の向上に付加的に働くように使用している。万が一、基本の耐震補強が揺れに耐えられない場合、「CABKOMA ストランドロッド」の補強が有効に働く設計だ。さまざまな形状に追従し、軽く強い炭素繊維は耐震補強に向いている。今後、実績を重ね、その性能が検証されると、建築材料としての有効性は明らかになると考えている。

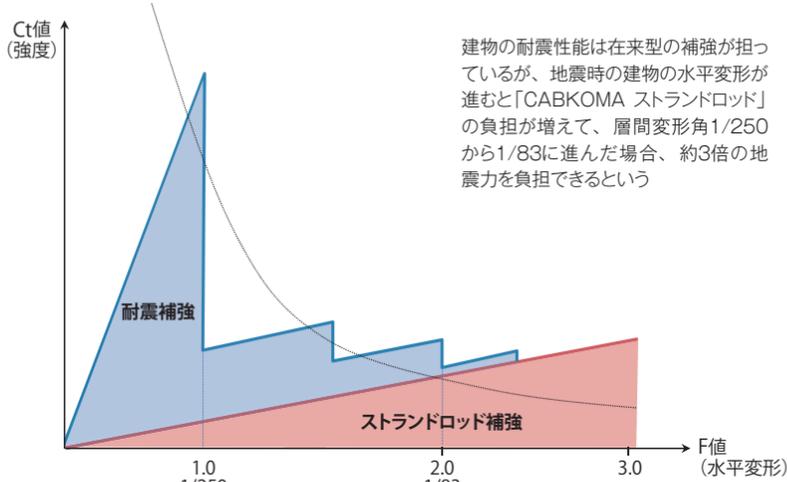
課題は接合部で、ロッドの強度に合わせて鉄で接合部を設計すると、どうしても大きくなり、ジョイントが鈍重だと当初の布としてのイメージも損なわれてしまう。そこで今回はデザイン、建物の性状と強度のバランスを考え、ロッドと一体化した目立たない接合パーツを設計した。炭素繊維ロッドの強度は高いので、特性をフルに生かすより、求められる強度に合わ

せて接合のディテールを考えるほうが合理的だ。木材のような柔らかい素材との相性も良い。例えば木造伝統建築の改修補強にも有効だと思う。

鉄なら熟練工の溶接が必要な場面でも、接着剤との親和性が高い炭素素材

ならロボット施工も考えられる。将来は接合部を炭素繊維強化プラスチックと3Dプリンタを使って作成し、接着剤で施工することも可能になるかもしれない。炭素繊維複合材は、これからの建築に多くの可能性を秘めた素材だと思う。(談)

● 補強概念図：「ストランドロッド」の補強効果を分かりやすく示した図



「CABKOMA スtrandロッド」による補強の試み | エレガントな外観を創出した炭素繊維の実験的使用 小松精練ファブリック・ラボラトリー「ファーボ」完成

小松精練の繊維染色技術の歴史を収め、繊維と暮らし、炭素繊維と建築の未来を提案するファブリック・ラボラトリー「ファーボ」がオープンした。

日本社棟を改装した施設で、改修設計は隈研吾氏。小松精練の「CABKOMA スtrandロッド」で「雪吊り」のような補強を試みた。夜景の様子はオーロラを思わせる外観だ。



1 外観 建物に張り巡らされた「strandロッド」の張力で、地震時の建物の前後左右の歪みと揺れを抑える。兼六園の雪吊りを思わせる外観。照明時にはオーロラのように見える

2 内装空間 「strandロッド」を竹細工のようなトラス状に加工し、ブレース応力で耐震性能を向上。細くても十分な強度があり、補強材としての視覚的な圧迫感がない

4 屋上 屋上には保水セラミックスパネル「グリーンピズ」を地面のような自然な三次曲面に敷き詰め、セタムで緑化している

●ファブリック・ラボラトリー「fa-bo(ファーボ)」敷地面積/6万7713㎡ 建築面積/959㎡ 延床面積/2873㎡ 屋上緑化面積/589㎡ 構造・規模/鉄筋コンクリート造・地上3階 設計・監理者/株式会社隈研吾建築都市設計事務所 施工者/清水建設株式会社 構造設計者/有限会社江尻建築構造設計事務所 施工期間/2015年2月12日~11月10日 竣工披露式典/2015年11月13日 ▶炭素繊維ロッド/外装ロッド:1031本、ロッド長さ14.110m~15.750m 内装ロッド:2778本、ロッド長さ0.255m~3.255m 塔屋バーゴラロッド:101本 階段ロッドスクリーン:123本 ロッドに使用した炭素繊維の総m数:637m

「鉄より軽くて強い炭素繊維」に樹脂を含ませた炭素繊維複合材料・CFRP。この炭素繊維を当社の保有技術と組み合わせたCFRPの開発方向を模索していた頃、懇意な異業種のトップから、ロボットアームの鋼鉄製のワイヤーを、軽量のCFRPに置換できたら、稼働時のエネルギー負荷軽減になるという提案を受け、strandロッドの技術開発をスタート。いずれ建築の世界に参入できるという手応えもあり、小規模ながら量産体制をつくり、ブランド名を「CABKOMA(カボコマ)」と決定しました。

炭素繊維複合材を建築素材に

課題となったのは炭素繊維が建築基準法では建築材料として、認可されていないという現実でした。EU諸国では既に、炭素繊維を積極的に建築材料に導入する動きが活発にあり、このままでは日本が建材分野で立ち遅れてしまう。私は建築基準法の建材に適合する開発に挑戦しつつ、自社の旧本社棟の耐震補強に、「CABKOMA strandロッド」を使おうと考えました。石川県、建築家の隈研吾氏、構造家の江尻憲泰氏、COI、石川県工業試験場、東京大学工学部らの力を借りて、炭素繊維の保有する高い性能を発揮し得る建材を開発し、それを建築物

に応用した。「ファーボ」はその成果物の第一号です。

建築材料の多くを輸入に頼らざるを得ない日本で、CFRPは輸入品に対抗できるメイド・イン・ジャパンの有力な建築素材であり、国際競争力の中心建築素材の可能性を秘めており、この軽く、強く、錆びない特徴は、近い将来我が国の繊維業界にとってもそれは、精華と言われるはず。例えばこの建材の特性の一つである「軽さ」は、運搬に重機が不要でハンドリングが楽なので施工効率を高めます。今回の「ファーボ」のプロジェクトを通して、建築業界での認知拡大と、高性能建材としての道を拓くことができれば、新たな雇用機会の創出を生み出すでしょう。

新施設「ファーボ」が果たす役割

今度完成したファブリック・ラボラトリー「ファーボ」は、繊維産業の歴史を後世に

残し、多くの方々に楽しみながら産地の特性や意義を知っていただく場であり、共にものづくりを体験、実験する場でありたい。また地元の産業ツーリズムの一翼を担う施設になればとも考えました。小松精練の歴史展示だけでなく、これからの「繊維+建築」の未来に向けた新提案に、隈研吾氏やスタッフの力を存分にお借りしました。そこで布の天井材や、布製の空調ダクト、ランプシェードなど、更に染色の技術を、建築空間に生かす新繊維業界創造への挑戦を行っています。

石川県に生まれ育った私たちの感性は、日本海と白山という自然に育まれてきました。今回の「ファーボ」の、雪吊りを思わせる「strandロッド」の連なりや、オーロラのように見える外観もじっくり御覧いただきたい。石川の素晴らしい風土のなかで、地元の子どもの感性を育てる風景をつくりたいという思いを、未来への



小松精練株式会社
代表取締役会長 中山 賢一 氏

展望と重ねて表現しています。詩情豊かな光景を創出し、当社の潜在力と、弾力性があり柔軟で軽やかな炭素繊維・CFRPの特性を、うまく建築空間に引き出している。いただいた隈研吾氏には心より感謝しています。建築業界をはじめ、多くの方々に、ぜひこの施設へ訪れていただき、そしてCFRPと「ファーボ」の訴えに耳を傾けていただければと願っています。(談)

| Building material X Fabric | ファブリック・ラボラトリー「ファーボ」を演出する未来に向けた新素材



ファブリック・ラボラトリー「ファーボ」の内装や家具・照明には、小松精練の技術を生かした繊維が随所に使用されている。保水セラミックスパネル「グリーンピズ」は屋上と、屋内テーブルの天板や壁材として使われている。そのほか、真っ白な繊維に、小松精練の染色加工技術でさまざまな表情、テクスチャーを創り出したファブリックを、照明器具、採光制御、空調設備などに採用。繊維素材の建築空間への新しい活用提案を一覧することができる