

タングステン塗布した放射線遮蔽布の 遮蔽性能

川合 將義^{1,2}、岩宮 陽子²、伊藤 大介³

¹KEK、²(株)超越化研、³KURNS

シリカテック®コーティング技術

放射線遮蔽布の開発

放射線遮蔽布の性質

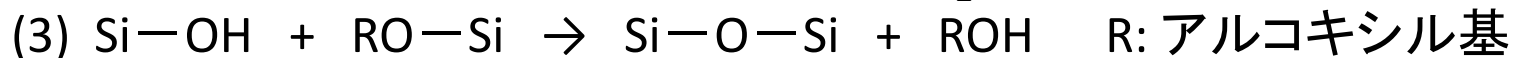
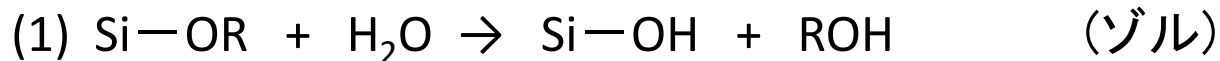
遮蔽性能測定

シリカテック®は、(株)超越化研の登録商標です。

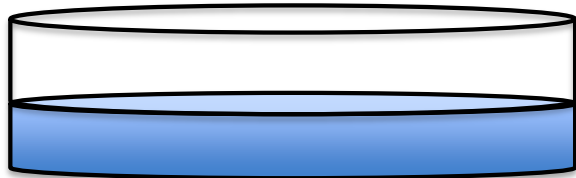
シリカテック®コーティング技術

基本特許: 第3456956号 (特開2002-061094号)

- アルコキシルシランと有機触媒を溶媒に溶かしたコート液を基材に塗る事で、液剤が基材中および環境中に含まれる水分を使って加水分解(ゾル化)し、さらに脱水縮重合などの化学反応を経てゲル(ゼリー状の固体)になり、溶媒が揮発することで基材の表面に極く薄いガラス被膜を作る。



- ガラス被膜は、有機(紙や木)、無機(金属や土)のどちらの基材にも化学結合。



MTM + 触媒 + 溶媒

2ヶ月間常温で屋内放置

→ 空气中水分で分解後重縮合
溶媒蒸発し、ガラス固化



ガラスは多孔質で撥水性と通気性あ

シリカテック®コート技術： 繊維への結合の様子

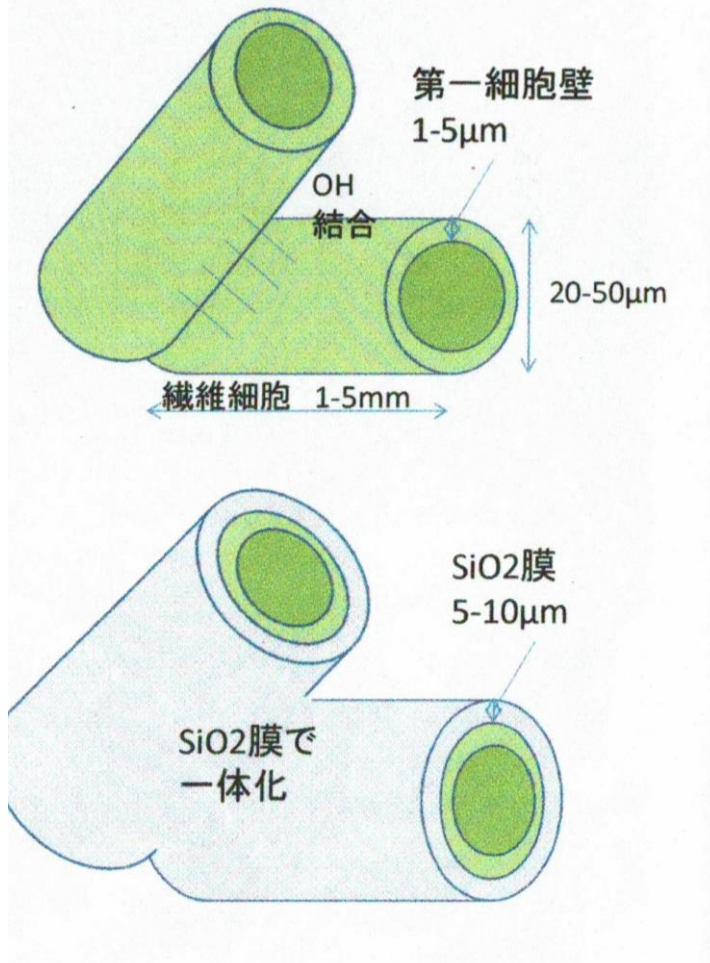
液剤は、材への濡れ性と
基材組織への浸透性が高い

コート液は、

- 透明で水のようにサラサラとして
塗りやすい

できたガラス被膜は多孔質で化学的に結合

- 水を弾き、汚れにくくする →
日常品、建具
- 透光性増し装飾性増 →
照明具、家具、日常品
- 紫外線に対しても強くする →
屋内外施設の耐紫外線加工
- 燃え難くする → 建具
- 無毒、F4☆取得コート剤 →
食器や玩具、建材
- 耐菌性、虫に冒されにくい → 建具
- 柔軟で呼吸できる → 樹木医、農業

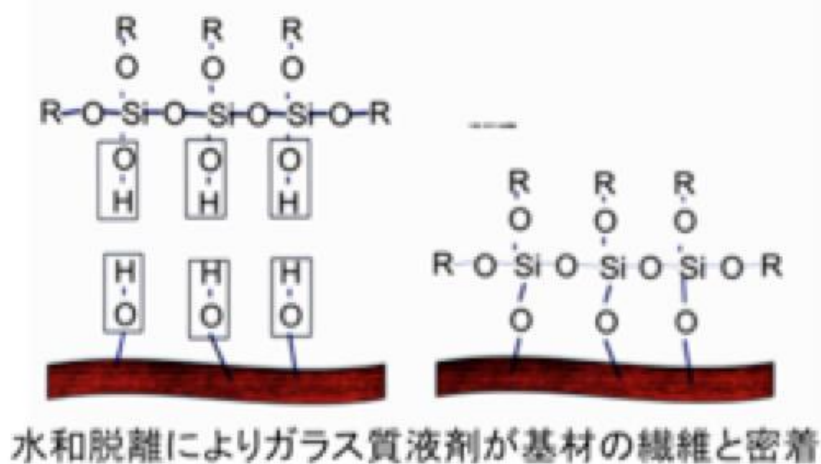
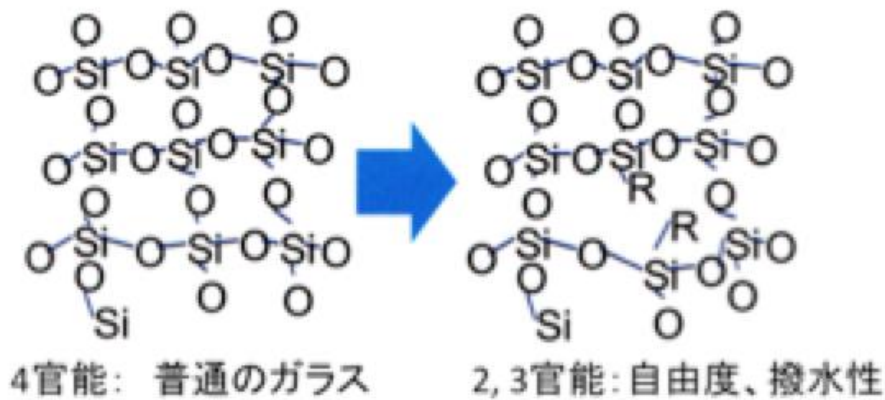


木本来の特性＋ガラスの性質

放射線遮蔽布の開発

ポリエステル布+ シリカテック®液剤+ タングステン微粉末

(基材と液剤の結合の化学構造)

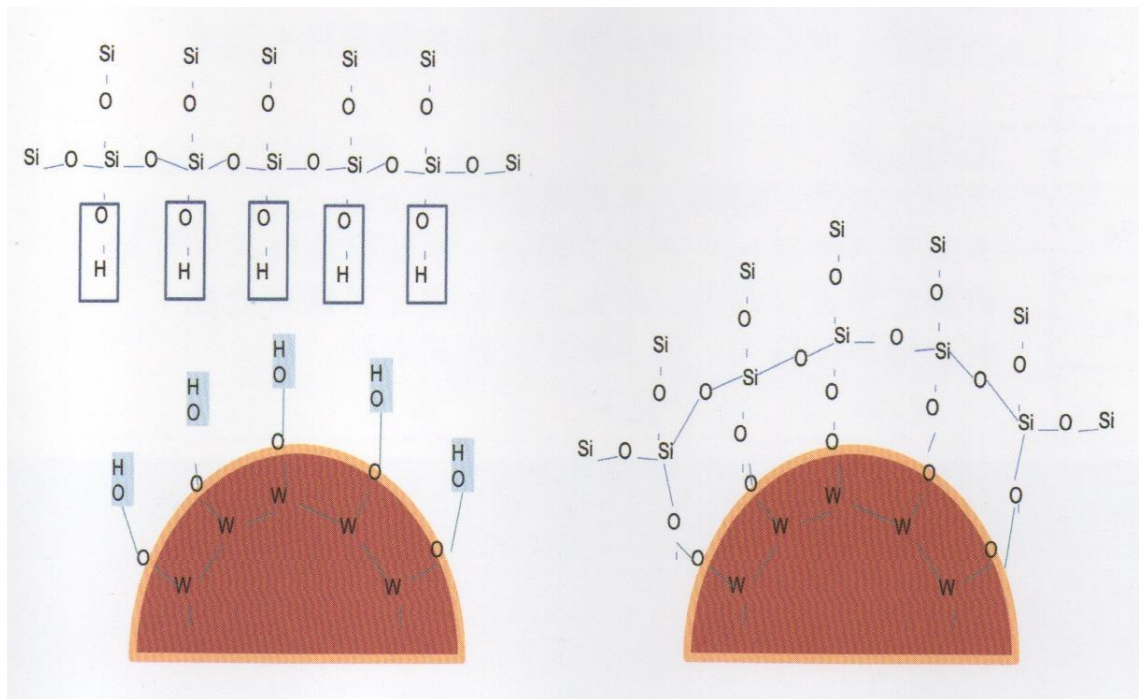


普通のガラスは官能基の手を4本持つ。硬く結合し柔軟性はない。

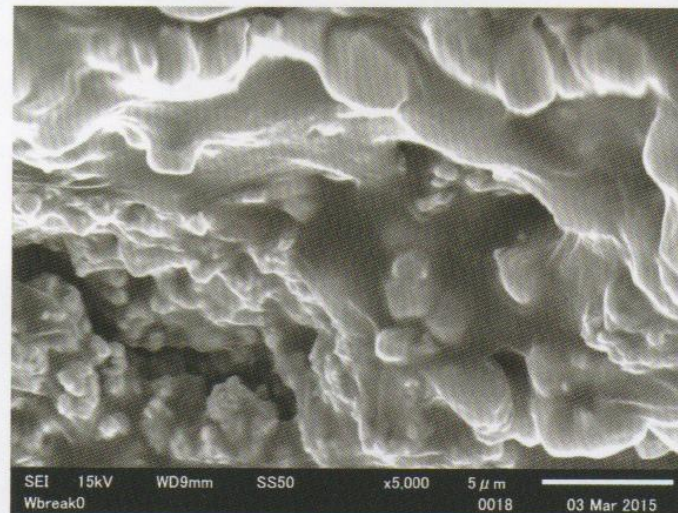
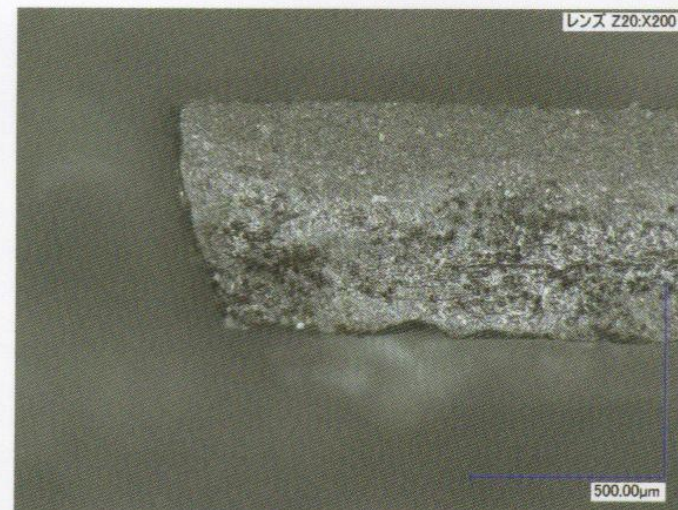
超越液剤は官能基が運動の自由度を持ち、柔らかい。
ガラス質液剤の加水分解でできた水酸基が基材繊維の表面の水素と結びついて形成される水が脱離することでシロキサン結合し、両者は非常に安定な形で付着。

タングステンと液剤との結合

液剤は浸透性高く、タングステン粉末を均等分散する



タングステン表面の酸化皮膜を通じて
液剤とシロキサン結合



破断面のタングステン粉末は超越
ガラスに覆われ析出しない。

遮蔽布の特性

- (1) 強さに優れ、防水性と撥水性と同時に優れた柔軟性を持っている。
- (2) 用途に合わせた大きさに切り取り、ミシンで縫製する事が可能である。
- (3) 手でも簡単に折り曲げることができる。
- (4) 切断面のタングステンは、ガラス質中にシロキサン結合の形で安定した形で取り込まれているため、表面に露出することはない。
- (5) 縮緬加工することで、スカートの襷のように柔軟性が増す。



首元も柔らかく、
しっかりと覆えます。



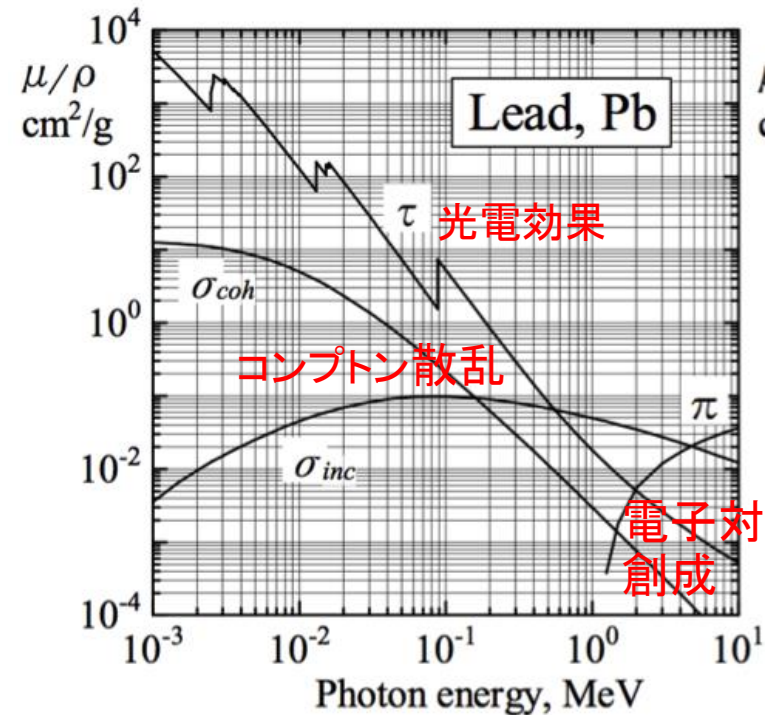
遮蔽布の基本物性

- (1) シートの1平方メートル当たりの重量は930g、かさ密度は 2.58 g/cm^3
- (2) 引っ張り強度：縦方向698N(71.2 kgf)、横方向438.7 N (44.7 kgf)
- (3) 伸び率： 縦方向 26.0%、横方向 21.8%
- (4) 摩耗強さ: A-1法で870回、A-3法で縦方向117回、横方向 122回
- (5) 試料を燃やした時に発生するガス中に、塩化水素、フッ化水素、
臭化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物等の有害物質検出されず。
- (6) 安全性：食品衛生法20号試験に基づく分析を行ったが、鉛、カドミウム、重金属、ヒ素、フェノール類、ホルムアルデヒド、蒸留残留物のいずれも検出されなかった。
- (7) 米国の食品と薬品の安全局 FDA の認定を取得

本遮蔽布の利用を想定する場の特徴

X線や低エネルギーガンマ線

- ・1 MeV近くのガンマ線は、コンプトン散乱で質量当たりの吸収係数は、物質によらず概ね同等でタングステンと鉛は同等
- ・100 keV域より低エネルギーのガンマ線とX線の吸収係数は、光電効果によるもので、タングステンは鉛の2倍以上高い。
- ・環境中や放射線作業現場での放射線被ばくは、線源からの直接ガンマ線より、エネルギーの低い散乱ガンマ線が主体。

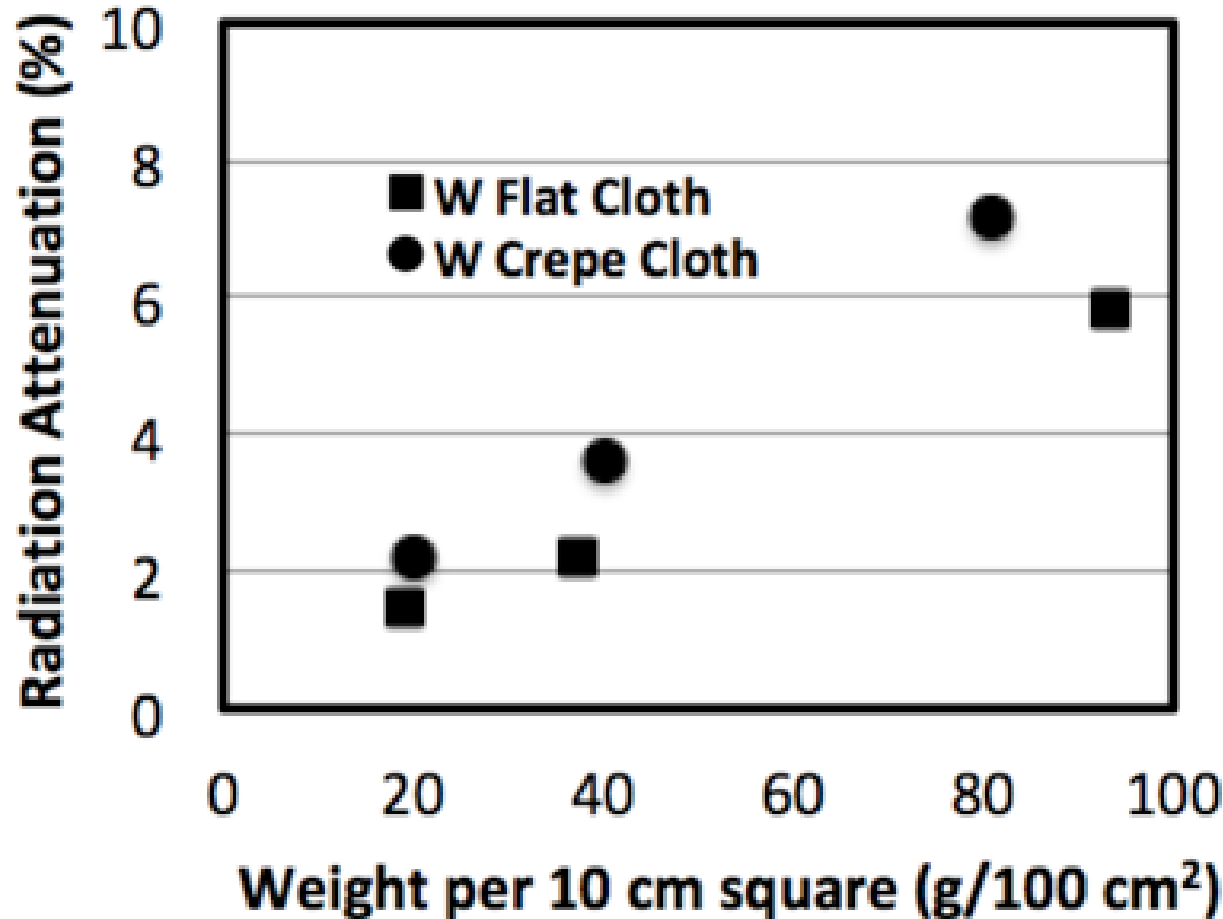


従って、性能評価は、X線や低エネルギーガンマ線が重要

遮蔽性能とその測定

- タングステンは、鉛より原子番号が大きいため光電効果が大きく、X線や低エネルギーガンマ線で高い遮蔽効果を期待できる。
- この縮緬加工布による防護服は、同程度の遮蔽性能の従来品に比べて軽くて使い易い。
- 遮蔽測定
 - 電離箱照射線量率計による透過放射線の測定
 - セシウム137線源 @都立産業技術センター
 - 遮蔽布透過放射線イメージング測定
 - 150 keVのX線、熱中性子 @KURNS
 - コバルト60のガンマ線散乱線場での防護服の測定
 - @名古屋大学

Cs137のガンマ線に対する遮蔽性能

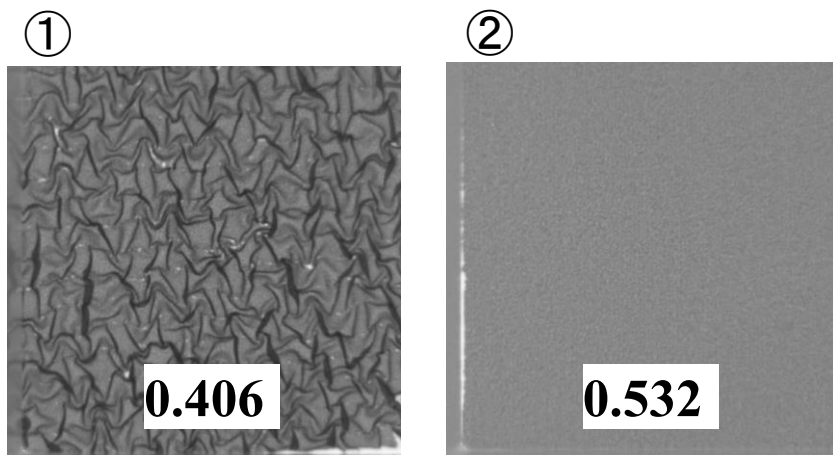


縮緬布の方が、重量当たりの遮蔽性能が高い。

KURNSのイメージング実験施設での測定

線源 TRIX-150WE-OC X線発生器の150 keV X線
KUR E-2孔の熱中性子
+ KURNSのCCDカメラ

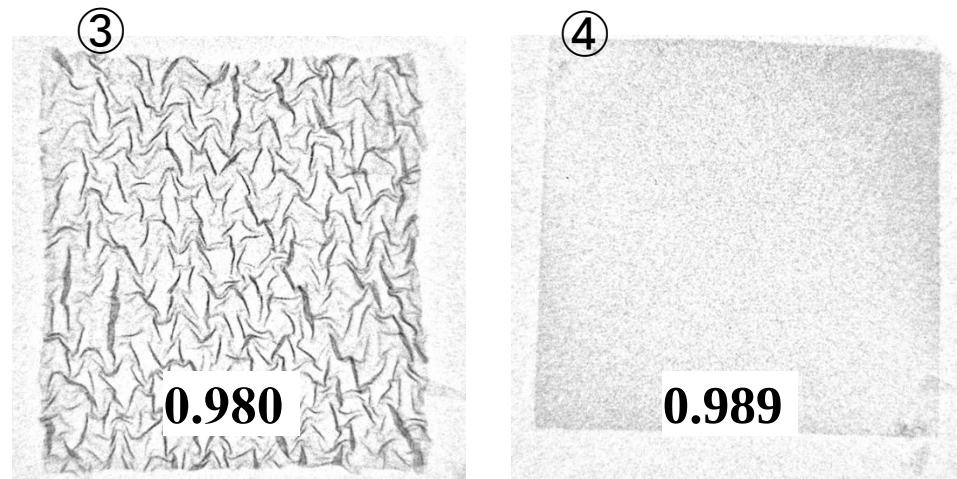
X線透過画像(150kV)



X線透過率



中性子透過画像(KUR E-2)



中性子透過率



150 keV X線での測定結果

W試験体	厚さ (mm)	遮蔽性能 (%)	鉛透過厚 (mm)	W試験体重量 (g/100cm ²)	等価鉛重量 (g/100cm ²)	重量比 (W/Pb)
フラット布	0.36	46.8	0.264	9.5	29.8	0.32
縮緬布	0.36	59.4	0.377	20.2	42.6	0.47

重量当たりの遮蔽性能： フラット布は鉛の3倍、縮緬布は約2倍

縮緬布は、柔軟で使い勝手はフラットより良好

防護服の遮蔽率の測定

名古屋大学のコバルト60照射室の散乱線場

腹部Blankが約 $300 \mu\text{Sv/h}$ となる位置

放射線検出器 日立アロカメディカル(株)製PDM-122

防護服は縮緬布 3枚重ね、 重さ 10.5kg



検出器配置図

防護服の遮蔽性能測定結果

	位置	部位	遮蔽率[%] 各測定点	遮蔽率[%] 各面平均	遮蔽率[%] 全身8点平均
W加工シート 防護服	正面	胸	13.7	34.8	42.1
		腹	38.6		
		下腹	52.1		
	側面	左脇	48.5	51.8	
		右脇	55.2		
	背面	胸	30.4	39.8	
		腹	42.8		
		下腹	46.1		

(東邦金属提供データ)

全身8点の平均は、42.1%

正面の胸部の遮蔽率が低いのは、胸元の線量計が一部飛び出したこと、高エネルギー成分が多いためと思われる。

重量当たり遮蔽性能に与える縮緬効果は、 線種により随分違う

線種	遮蔽性能	フラット透過率
150 keV	フラットの約3分の2	約50%
Cs ガンマ線	フラットの約2倍	99%
中性子	フラットと同等	99%

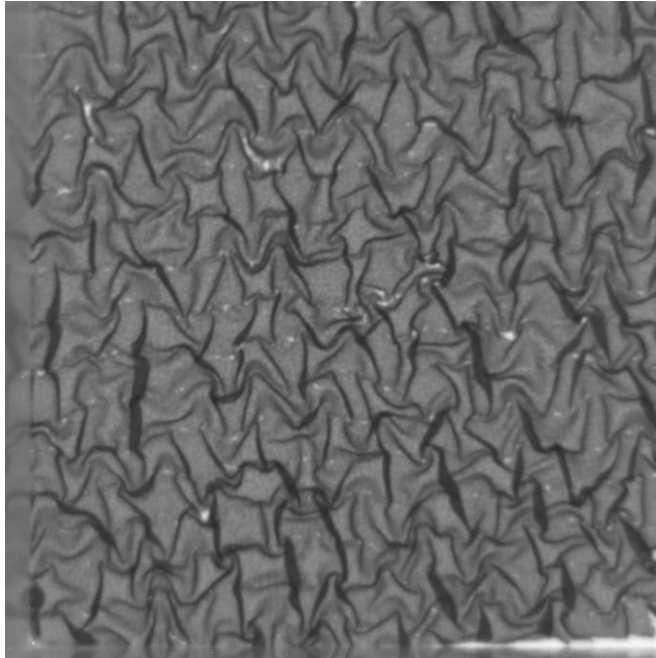
透過率が低い場合：

布全体の遮蔽体の分布が影響。特に面積の大きい谷の部分が重要。縮緬布は面積あたり重量が倍増するが、加工が粗いと隙間部漏洩によって、性能が落ちる可能性がある。

透過率が高い場合：

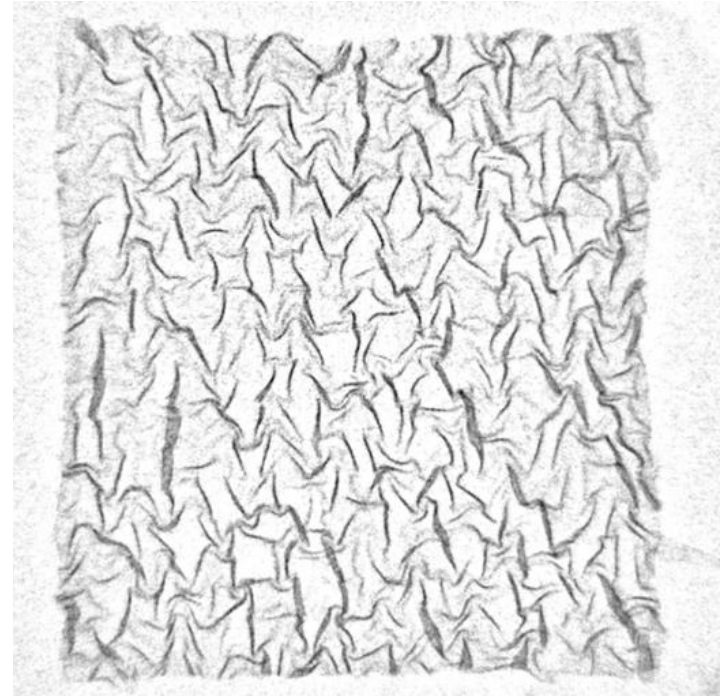
遮蔽効果は、縮緬の重なり部分、遮蔽体の局所的な分布で決まる。特に重畳効果で遮蔽性能が上がる。

縮緬布の遮蔽性能の決定要素



150 keV X線: 59%遮蔽

谷部の遮蔽の弱部の方が影響



熱中性子: 1%遮蔽

高エネルギーガンマ線: 1-3%遮蔽

山の峰の遮蔽の強さで決まる

既存タングステン遮蔽体との比較

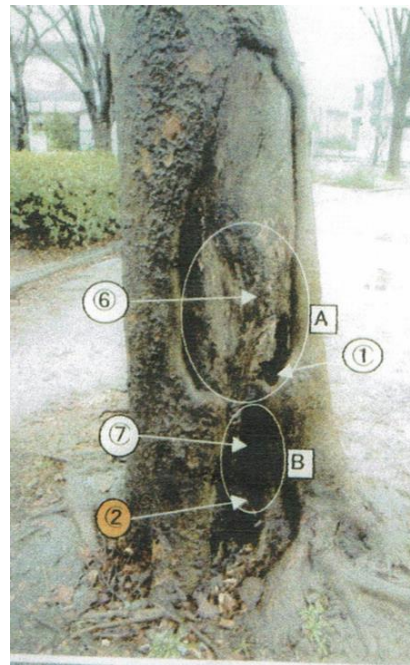
項目	シリカテック®タングステン布	ニッタン タングステンシート
製法	シリカテック®法によりポリエチレン布にW粉末塗工	タングステン粉末と弾性樹脂の混合物を高温で成形
特性	柔軟な布、アルミ並みの軽さ 動きやすい、強く撥水性、 裁断・縫製加工可能、 最大 1,300mm X 10,000mm	柔軟なシート、高密度、 テープのように形状保持 曲げられる、機械的強度 最大 800mm X 1,000mm
密度	2,58 g/cm ³	11.5 g/cm ³ 以上
硬度	—	95.6
引っ張り強度	縦方向 71.2 kgf, 横 44.7 kgf	44.9 kgf
伸び	縦方向 26.0 %、 横 21.8 %	25.6 %
150 keV X線遮蔽性能	0,73 mm鉛 同じ重さの鉛の3倍	1.11 mm鉛 同じ重さの鉛の1.09倍
応用	遮蔽服、帽子、手袋、 電子機器や放射線検出器遮蔽 放射線施設の補助遮蔽	遮蔽シート、遮蔽マット ロール成形遮蔽 配管用テープ状遮蔽

中性子イメージングへの期待

- 受傷樹木の回復
 - コンクリート封孔効果
 - 着霜と除霜
- 撥水性と通気性
濡れ性と浸透性
撥水性と親水性液剤



横浜市洋光台公園



大きな開口空洞2箇所あり、樹皮欠損部にベッコウタケ等の子実体発生し、幹直下の根系消失

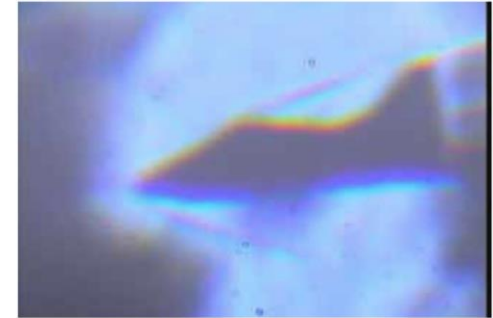


樹皮欠損部をシリカテック®コートできた被膜は、雨を防ぎ、呼吸可能

まとめ

- (1) ゴルーゲル法でできたくシリカ被膜に化学結合させてポリエステルにタングステン微粉末を塗布した放射線遮蔽布を開発した。
- (2) 原料物質は、安全性に優れ、また、柔軟性と加工性に富んでいるため、作業性に優れた遮蔽防護服等に使える。
- (3) 遮蔽性能を測定した
 - KURNSのイメージング測定装置により、布平均の遮蔽性能が分かった。150 keV X線に対してフラット布は、同じ重量の鉛の3倍、縮緬布は2倍の性能であることが分かった。
 - 縮緬布で作った防護服は、コバルト60の散乱線場で42%の遮蔽性能を持つことが分かった。その服は10.5kgで従来品の半分。
- (4) 遮蔽布は、医療現場や放射線実験場の補助遮蔽としても利用で

ご静聴ありがとうございました。



先端から発生する衝撃波を捉えたシュリーレン映像



マッハ7の気流に耐える折り紙ヒコーキ

横浜洋光台公園のケヤキの木材腐朽病の治療 → 傷んだ樹木の水包帯(撥水性と通気性利用)



大きな開口空洞2箇所あり、樹皮欠損部にベッコウタケ等の子実体発生し、幹直下の根系消失



樹皮欠損部シリカテック®コート写真

樹冠下の地表の土壌改良
樹皮欠損部シリカテック®コート

隣接木より葉緑濃厚で活性度向上
腐朽材表面5mm内外で固化、材質劣化なく、効果確認。

幹空洞部水苔充填
幹空洞開口部ポリバネ被覆

多数の不定根発生し、経過良好
被覆下、過湿状態で劣化進行
山本洋之他、樹木医学研究、12巻、2号、55-56(2010)より

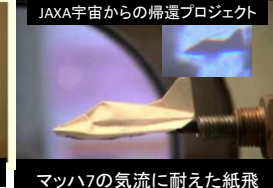
透光性、撥水性、強くなる → 明かり、紙飛行機、和様建具、自由造形できるガラス繊維品の強靱化



ランプシェード



神奈川県
建具協同
組合作
「エコ建具」



マッハ7の airflow に耐えた紙飛行機



ガラス繊維加工品

撥水性、耐汚性、環境安全性 → 脱プラスチック

- ・ 自然に回帰する紙や木と、環境に易しいシリカテック®コート液で、プラスチック代替品作り。
- ・ プラスチック製品より美しい塗りや自然の肌触りを与える
- ・ SDGs が求める安全性・耐久性と高級感を實現 (理想)



多様で美しさも兼ね備えた
紙皿
水洗いして再利用もできる

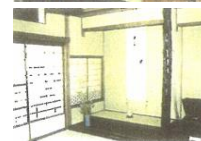
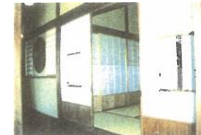


72時間つけてもふやけない
口当たりが良い

撥水・耐汚性・F4☆ → 住宅建具への利用



長野県星野リゾート 星のやの
木の風呂等の塗工
木の高級な板にも使用



指定文化財旧柳下邸の
畳・障子や建具木部の保護
水洗いもできる障子

タングステン微粉末塗工の放射線防護服

特許第6168656号(特願2013-207174号) 遮蔽布

布にしっかり附着
柔軟で着易く、動き易い
高い遮蔽力(大人用10kgで40%)



柔軟で裁断と縫製できる遮蔽布



首元もしっかり塞げる
放射線防護服



大人用 放射線作業用
作業性抜群

耐紫外線と撥水性 → 屋内外施設や設備の塗工

紫外線照射と水噴射試験
(ウェザーメーター試験)500時



未塗工 塗工
品 品



伊勢神宮大鳥居の保護
塗工
(2013年 第62回式年遷宮)

試験による吸水性測定結果

	試験前	500時間後
塗工品	0 mg	88 mg
未塗工品	101 mg	795 mg



銀座シックス天井の明り採り²
(ガラス繊維に塗工強化)
草間彌生氏の巨大南瓜を演¹

まとめ: エコ&SDGs品としての用途

塗りやすく透明・撥水性のシリカテック®の利用分野 工芸品、食器、容器

乳幼児にも安全の木製玩具、木製食器
建築、建具関連

日本の森林保護と活用促進 樹木保護、材木・間伐材製品の付加価値

ふるさと物造り 木工品、和紙製品や金属の装飾、撥水加工

非鉛で柔軟性に富んだ放射線遮蔽布とその製品

文化財、古民家や博物館標本の保存 ex. 三内丸山遺跡復元建物
プラスチックの機能を環境負荷を与えず実現し、高装飾性脱プラ製品

特許 岩宮陽子: 特許第3456956号(特開2002-061094号) コート液

岩宮陽子他: 特許第6168656号(特願2013-207174号) 遮蔽布

岩宮陽子他: 実用新案(実願2018-4237) 複合材

岩宮陽子: 特許第6482214号改訂された基材の製造報法と基材

液剤や塗工 製品開発の二重命と二重課は 株式会社超級化研へ

機能剤との複合利用: 漆器、色づけ、抗菌化

液剤の浸透性に基づく機能剤の均一分散性(希釈)
下地機能剤+シリカテック®上塗り → 複合効果+薬効の長期発揮



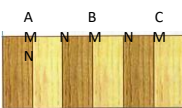
10倍希釈漆液、2回の塗りで綺麗な仕上がり

(希少の和漆を節約可能)

食洗機でも洗える

2. シリカテック®+機能剤塗工CLT材の暴露試験

シリカテック®液
木材保護機能塗工直後



B: 有機無機汎用 C: 紫外線防止用

5000時間暴露

(風雨、紫外線防止用)
N: 単独使用で2000時間耐久の試験データあり
A+M: 最良