



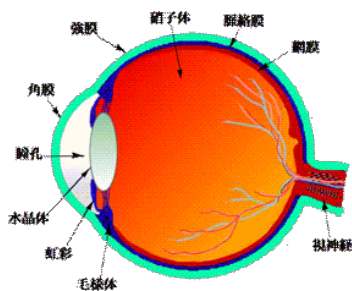
Q51

青い目と空の青とは同じ？

空の青と海の青とは理由が違うことを Q 41 で説明しました。それでは、青い目はどうでしょうか？日本人の目の色は黒ですが、外国の人は青い目の人が多いですね。白目はどうして白いのでしょう？白ウサギの目が赤いのはなぜでしょう？フラッシュで写真を撮ると赤目になるのはどうして？このような目の不思議が沢山あるので、目の構造からこれらの問題を考えて見ましょう。

目の構造

眼球は直径約 25mm の球で、大きく分けて外膜・中膜・内膜の 3 層構造になっています。



目の構造

外膜	角膜(Cornea)・強膜(Sclera)
中膜	虹彩(Iris)・毛様体(ciliary)・脈絡膜(choroidea)
内膜	網膜(Retina)・視神経(Optic nerve)
	水晶体(Lens)・硝子体(Vitreous)

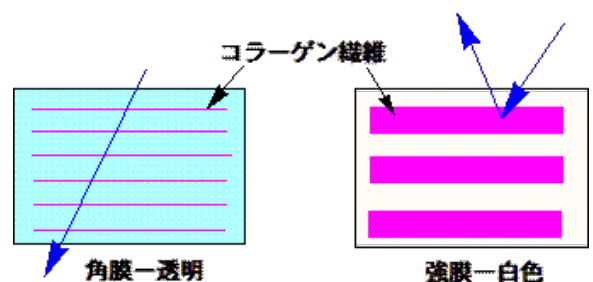
外膜

眼球の外側は角膜(Cornea)と強膜(Sclera)で、コ

ラーゲン (collagen) の丈夫な膜で眼球の形を保っています。コラーゲンとは、強い繊維状のタンパク質で、髪の毛、骨、皮膚などの硬い部分に含まれているものです (補足説明)。

角膜と強膜は連続していますが、角膜は透明です。角膜のはたらきは、光を眼球内に透過させるとともに、レンズと同じように光を屈折させています。強膜は角膜とつながっていますが、透明ではなく白色をしています。眼球の白目の部分が強膜です。

角膜と強膜はコラーゲン繊維 (屈折率 $n=1.44$) がムコ多糖類 (mucopolysaccharide、コンドロイチン硫酸など、屈折率 $n = 1.35$) に埋め込まれた構造ですが、透明と白色の異なった性質です。これは、コラーゲン繊維の太さの違いによるものです。角膜では直径約 29 nm の繊維が約 59 nm の間隔で 200 - 250 層にわたって並んでいますが、可視光線の波長よりも短いので透明です。一方、強膜では、直径約 30-300 nm の繊維が約 285 nm の間隔で並んでいて、可視光線の波長と同じぐらいですので、光が散乱して白く見えます。ミルクや豆腐が白いのと同じ理由です。



透明な角膜と白い強膜 (白目)

角膜と水晶体の間は房水と呼ばれる液で満たされています。房水は水晶体、角膜などの血管のない目の組織に栄養を与えるなどの代謝のはたらきと、眼球内の圧力（眼圧）の調整をしています。

中膜

中膜は血管の豊富な3つの部分（虹彩・毛様体・脈絡膜）からなっています。虹彩・毛様体・脈絡膜は連続した組織で、褐色のメラニン色素が多く存在します。メラニン色素は髪の毛や皮膚にある黒い色素です（Q 24 参照）。

虹彩(Iris)は透明な角膜を通して肉眼でも見えますが、目の色は虹彩に含まれる色素の量によって決まり、日本人の場合、茶目にあたるところが虹彩です。含まれる色素の量が少ない白人は青色をしています。虹彩の中央部は穴があいていて瞳孔(Pupil)です。いわゆる黒目の部分です。ここを通過して光が目の中に入っていきます。虹彩と瞳孔のはたらきはカメラの絞りと同じように目のなかに入る光量を調節しています。虹彩の周囲は強膜に付着していて、虹彩のうしろには毛様体(ciliary)があります。毛様体のなかには眼のピントあわせをするための毛様筋という筋肉があります。毛様筋が緊張すると水晶体が厚くなり、近くのものにピントがあうようになります。

毛様体のうしろには脈絡膜(choroidea)があります。脈絡膜の外側は強膜が取り囲み、脈絡膜の内側には網膜があります。脈絡膜は網膜に栄養を供給します。脈絡膜は色素に富んだ黒い組織で瞳孔以外の部分から眼内に光が入るのを防いでいて、カメラのケースにあたります。また、眼球へ血液を運ぶ血管が豊富で、眼球の各部位に養分を補給する役割も果たします。

内膜

脈絡膜の内側には網膜(Retina)があり、眼球の壁のもっとも内側です。網膜には視神経乳頭と呼ばれる目と脳をつないでいる神経の接合部があります。網膜は桿体と錐体という二種類の光を感じる細胞からできています。

網膜は眼球の内壁で、カメラのフィルムにあたる部分です。網膜に光があると化学反応がおこって、光のエネルギーを電気的なエネルギーに変化させ、脳に伝えます。

網膜にはカラーテレビの3原色と同じように、赤、緑、青の3色にそれぞれ反応する3種類の細胞と、薄暗いところでも敏感に反応する白黒系の細胞とが複雑に配置されていて、微妙な色具合や明暗がわかるしくみになっています。網膜のもっとも後方の部分は中心窩といい、ここがものをみる中心となります。眼底では黄斑部の中心にあたります。

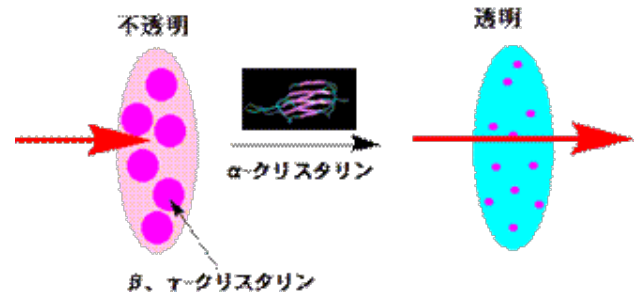
水晶体

水晶体(Lens)はカメラのレンズにあたり、厚くなったり薄くなったりしてピント合わせをします。この水晶体の厚さの変化は、毛様体の筋肉の伸縮によります。水晶体は全体が一種類の細胞とこの細胞が変化してできた繊維からできているという特異な組織で、その成分は水分66%、タンパク質33%、ミネラル1%で構成されています。

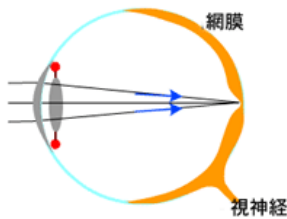
水晶体はタンパク質に富む組織ですが、その98%は水晶体に特有のクリスタリン（crystallin、 α 、 β 、 γ の3種類が存在）というタンパク質で占められ、水晶体の重量の20~60%を占めています。

光は水晶体で屈折し、網膜に集光する必要があります。このようなレンズの屈折率を考えると、その中には高濃度のタンパク質が含まれている必要があります（0.4 g/l）。もし多くのタンパク質を詰め込むと、タ

タンパク質は会合して濁ってしまいます。αクリスタリンはこのようなタンパク質の会合を抑制する働きがあるタンパク質なのです。硝子体の屈折率は水と同じで約 1.33 ですが、角膜は約 1.37、水晶体の屈折率は約 1.43 で、光学ガラスの 1.5 にはおよびませんが、プラスチックレンズの 1.49 に近い屈折率です。



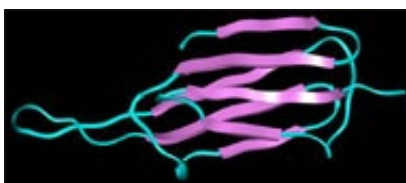
α-クリスタリンはタンパク質の凝集を抑えて透明にする



屈折率(n)

空気 1	角膜 1.37
水 1.33	水晶体 1.43
光学レンズ 1.5	硝子体 1.33
プラスチックレンズ 1.49	

α-クリスタリンは部分的に変性した β-および γ-クリスタリンを元の状態に戻す機能（シャペロン機能）を持っています。タンパク質が変形して集まると不透明になるので、集まりを抑えて透明性を保つ必要があります。一方、β-と γ-クリスタリンは水晶体の透明性の維持や光の屈折率を高める働きをしています。つまり、水晶体の機能や透明性はこれら 3 種類のクリスタリンの働きによって維持されているわけです。人間の場合、αクリスタリンは 45%、βクリスタリンは 20%、γクリスタリンは 35%です。



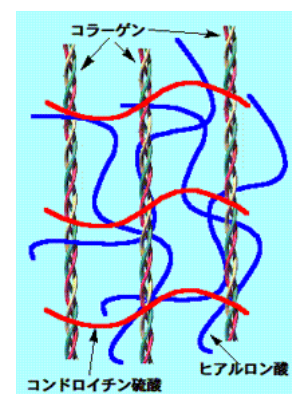
α-クリスタリン

硝子体

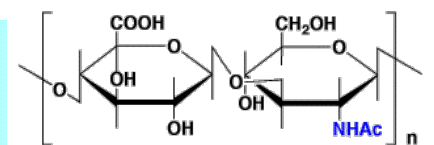
硝子体(vitreous)は水晶体の後方の眼球内容の大部分を占め、無色透明のゼリー状をしています。硝子体のはたらきはまだよくわかっていませんが、目のなかの代謝物質の通り道、目に対する外力をやわらげる作用などがあると考えられています。

硝子体は 99%が水で、透明で安定なゲルであり、人ではヒアルロン酸(hyaluronic acid)を含んでいます。ヒアルロン酸は高分子量ですが、硝子体中の濃度（約 2 mg/ml）においてはゲル化せずどろどろの液体です。そこで、眼球の形を保つため、コラーゲンが使われています。硝子体は、線維で強化された複合物なのです。

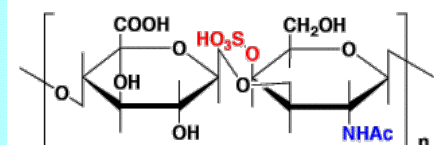
細い（10 nm の）コラーゲン繊維がアニオン性のコンドロイチン硫酸で接着されていて、その中に水を沢山含んだヒアルロン酸が入っているのです。



硝子体のモデル



ヒアルロン酸

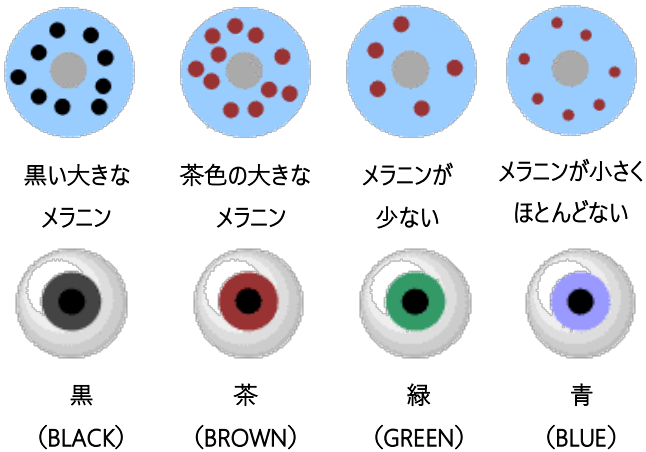


コンドロイチン硫酸

構成成分

目の色

人間の場合、人種によって目の色が違います。日本人だと「黒目」と呼んでいる部分ですが、角膜自体は透明です。黒く見えるのは、その下の虹彩の色です。虹彩の色は、メラニン色素の量で決まります。メラニン色素が多いと黒く見え、少ないと茶色や青い目になります。白色人種は色素が少ないので青っぽく見え、日本人は色素が多いので褐色や黒に見えます。



メラニン色素は髪の毛にあるものと同じです。毛根にあるメラノサイトという色素細胞が、髪の毛にメラニン色素を送り出します。色素の量が多ければ髪の毛の色は黒色になり、少ないと茶色やブロードになります。

紫外線の強い所に住んでいる人は、紫外線から目を守るためにメラニン色素で保護しています。メラニン色素は髪の毛や皮膚にもあって、紫外線から守っています。

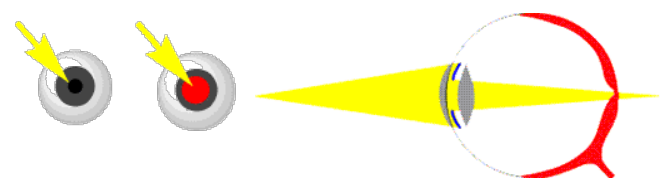
白人、特に北欧の人は紫外線が弱いので、髪の毛、肌、目に保護するメラニンは必要がなく白いのです。ブルーに見えるのは、虹彩にメラニンが少なくて非常に小さな粒になっているので、空が青いのと同じ理

由（レイリー散乱）でブルーに見えるのです。メラニンの小さな粒子では、波長の短い青の光を多く散乱しますが、波長の長い赤の光はあまり散乱しないために、青く見えるのです。

青い色素が入っているわけではありません。黒い目は暗雲が立ち込めた時と同じで、雲が光を全て吸収してしまうので黒いのです。目は空と同じですね。

赤目

目の球の真ん中（瞳）は黒いですが、眼球の中まで光が入らないので、黒く見えます。しかし、暗いところでは瞳孔が広がって光を多く入れるようにしますので、そこでフラッシュで写真を撮ると目の血管が赤く写るのです。白ウサギは瞳が無いので、血管が見えて赤目になります。カメラで赤目軽減のスイッチを入れると、フラッシュが一度光って瞳孔を閉じ、次のフラッシュで写真を撮るので、赤目にはなりません。ブルーの目の人の写真を撮ると、可視光線は虹彩を通過するので、フラッシュをたくと眼球の血管が写り赤に見えます。



虹彩が
閉じている

虹彩が開いているので、内部の血管が
写る（赤目）

子どもの目

もし黒い目の日本人の女性と、青い目の欧米人が結婚した場合、その子どもの目は何色になるでしょう。子供の性質は 23 対で 46 の染色体により決め

られます。子供は 46 の染色体を持っていますが、1 つは父親から、もう 1 つは母親からのものです。目の色は虹彩のメラニン色素の量で決まりますから、目の色は黒いメラニンを作る遺伝子を持っているかどうかで決まります。このような遺伝子は違うもの（対立遺伝子）ですから、どちらかの遺伝子が優勢になり他が劣勢になります。混ぜ合わせた中間の色になることはありません。目の色の場合、メラニン色素を作ることができる黒目(brown eyes)が優勢になります。したがって、どちらかの親が黒目の場合、子供の目は黒になるはずで

す。しかし、本当はそんなに簡単ではなく、もっと複雑です。日本人は黒い目ですが、欧米では茶、緑、青（brown, green, blue）3つの目の色が主流で、その遺伝子が研究されています。人間の茶、緑、青の目を見ることはあまり無いと思いますが、ペットで飼っているシャム猫やハスキー犬ではよく見かけると思います。



シャム猫

Brown
(犬)






















Green
(犬)

Blue
(犬)

子どもの目の色は、Brown/Green 遺伝子と Green/Blue 遺伝子の 2 つの遺伝子で考えられています。茶は緑に対して優勢で、緑は青に対して優勢です。茶の遺伝子を持っていると、緑や青の遺伝子があっても、茶の目になります。茶の遺伝子が無く緑の遺伝子があると、緑の目になります。茶や緑の遺伝子が無いと青の目になります。緑の目は、メラニン色素が少し有る時の色です。遺伝子は、虹彩のメラニンを作る酵素を持っているのです。

			
目の色	Brown	Green	Blue
Brown/Green 遺伝子	Brown-Brown Brown-Blue	Blue-Blue	Blue-Blue
Green/Blue 遺伝子	Green-Green Green-Blue Blue-Blue	Green-Green Green-Blue	Blue-Blue

両親の遺伝子を考えて、どちらかに Brown の遺伝子があれば、子どもの目は Brown になります。Brown の遺伝子が無く、Green があれば、子どもの目は Green になります。Brown の遺伝子も Green の遺伝子も無ければ、子どもの目は Blue になります。

母									
父									
子									

髪の毛では、黒い色素（ユーメラニン）と赤い色素（フェオメラニン）があって、黒髪、茶髪、金髪になると説明しました（Q 24 参照）。したがって、赤の色素の遺伝子も考える必要があるかも知れません。また、東洋人と欧米人の場合は簡単ではないように思えます。このように、子供の目の色については、ある程度遺伝子の場所や優劣について明らかにはなっているのですが、すべてを説明することはできていないようです。

補足：目の成分

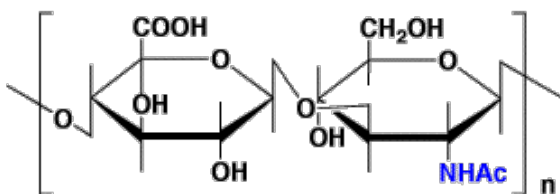
目や内臓などの組織の多くは、タンパク質繊維であるコラーゲンと糖質が結合したプロテオグリカン(PG) からできています。タンパク質部分に結合したムコ多糖鎖であるグリコサミノグリカン(GAG)にはいろいろな種類がありますが、いずれも分子量数万の直鎖状の硫酸化多糖鎖です。

コラーゲン

身体のタンパク質の約 4 分の 1 はコラーゲンです。骨、皮膚、内臓などの構造を保つためには硬い組織と柔らかな組織が必要です。魚には骨があるので、魚の形を保つことができます。コラーゲンはこのような構造を保つタンパク質です。骨や歯などはヒドロキシアパタイトという無機材料をコラーゲンに加えて、硬い組織にしています。また、皮膚にはヒアルロン酸を加えて、保湿性の柔らかい組織にしています。タンパク質にはαらせん構造やβ構造等がありますが、それでは硬くすることはできません。コラーゲンは3本のタンパク質が水素結合で結ばれて3重らせん構造になり、それが集まって強いコラーゲン繊維になっています。

ムコ多糖類

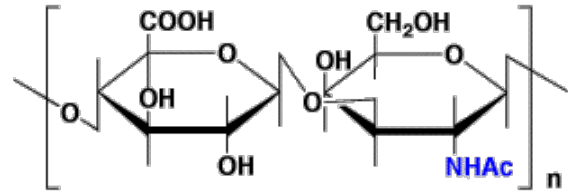
ヘテロ多糖類の中で、動物の結合組織や体液中に存在するものです。



ヒアルロン酸 Hyaluronic Acid

[成分] D-グルクロン酸,N-アセチル-D-グルコサミン

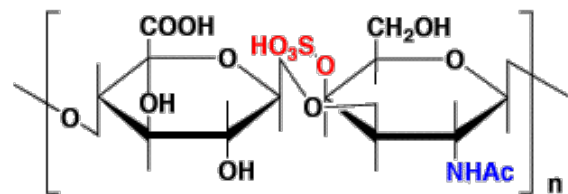
[由来] 皮下・眼の硝子体・関節液



コンドロイチン Chondroitin

[成分] D-グルクロン酸,N-アセチル-D-グルコサミン

[由来] 角膜・骨

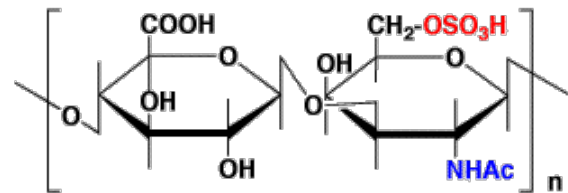


コンドロイチン硫酸A Chondroitin Sulfate A

(コンドイチン 4-硫酸)

[成分] D-グルクロン酸,N-アセチル-D-グルコサミン-4-硫酸

[由来] 軟骨

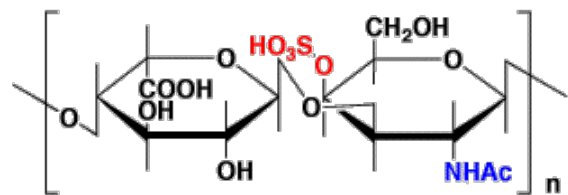


コンドロイチン硫酸C Chondroitin Sulfate C

(コンドイチン 6-硫酸)

[成分] D-グルクロン酸,N-アセチル-D-グルコサミン-6-硫酸

[由来] 軟骨

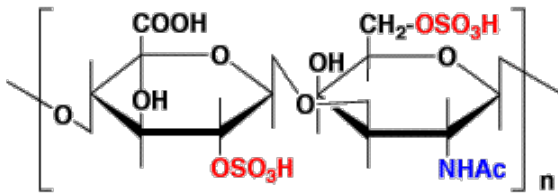


デルマトン硫酸 Chondroitin Sulfate B

(コンドイチン硫酸B)

[成分] L-イデロン酸,N-アセチル-D-グルコサミン-4-硫酸

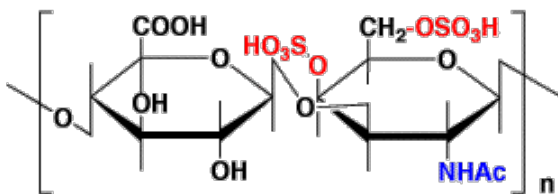
[由来] 皮膚



コンドロイチン硫酸 D Chondroitin Sulfate D

〔成分〕 D-グルクロン酸-2 (or 3)硫酸, N-アセチル-D-ガラクトサミン-6-硫酸

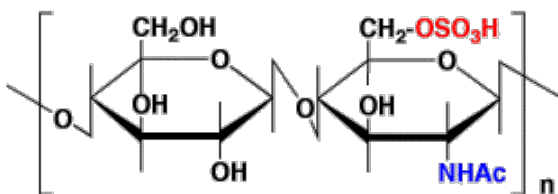
〔由来〕 軟骨



コンドロイチン硫酸 E Chondroitin Sulfate E

〔成分〕 D-グルクロン酸, N-アセチル-D-ガラクトサミン-4, 6-二硫酸

〔由来〕 軟骨



ケラト硫酸 Keratan Sulfate

(ケラタン硫酸)

〔成分〕 D-ガラクトース, N-アセチル-D-グルコサミン-6-硫酸

〔由来〕 角膜・軟骨

グルコサミンは、体内にあるアミノ酸の一種で、軟骨を作っている主成分の1つです。ムコ多糖の構成成分として、自然界にも広く分布し、カニ・エビなど甲殻を形成するキチン質に多く含まれています。

ヒアルロン酸

ヒアルロン酸は、N-アセチルグルコサミンとグルクロン酸の2種類の単糖が交互に2糖単位で、何百また

は何千と直鎖状に連なった高分子です。関節や皮膚などの柔らかい部分に含まれ、鶏のトサカもヒアルロン酸です。ヒアルロン酸は高分子量ですが、硝子体中の濃度（約2 mg/ml）においてはゲル化せずどろどろの液体です。これは、細いコラーゲン線維の非常に希薄な網目構造により超吸水性樹脂のように硬くて柔らかくなっています。硝子体は、線維で強化された複合物である。その結果光路にはなるべく固形分が減少した状態になっています。細い（10 nmの）コラーゲン線維がコンドロイチン硫酸であるアニオン性 GAG の橋渡しされて保持されています。コンドロイチン硫酸はコラーゲン繊維を結び付ける接着剤の働きをしています。

コンドロイチン硫酸

動物の細胞・線維・組織・器官の間をしっかりと結びつけて、それらの支持・保護・栄養補給の役目を果たしている組織を結合組織といい、その主要部分はムコ多糖体と呼ばれる粘性物質である。コンドロイチン硫酸はグルコサミンと同じようにムコ多糖体の重要な構成成分の1つです。

コンドロイチン硫酸は、体内ではタンパク質と結びついてコンドロムコタンパクという形で、主に皮膚・血管壁・軟骨・靭帯・関節・眼球・角膜・粘液・各臓器に分布しています。

ヘパリン

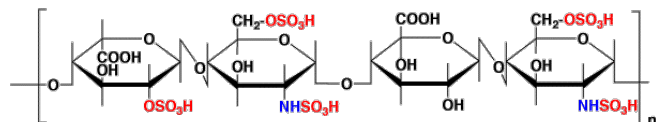
Heparin

D-グルクロン酸, L-イデオロン酸-2-硫酸, N-スルホ-D-グルコサミン-6-硫酸

ヘパリンはウロン酸とグルコサミンの繰り返し構造から

なる酸性ムコ多糖類で、ウシ肺またはブタ腸粘膜などから作製され、分子量も約 3,000-35,000 と種々のものが混在します。

それ自体に抗凝固作用はありませんが、生理的凝固阻止因子のアンチトロンビンによるトロンビン、Xa などの不活性化作用を促進します。



●著作権について

キリヤ色と化学の Q&A の文書、画像、デザインなどの著作権は、キリヤ化学株式会社に帰属します。このサイトの内容を転載される場合は、弊社まで一報下さり了解をお取り下さい。なお、提供者が記載されている写真・絵に関しましては、著作権は提供者に属しますので、恐れ入りますがそちらの方へ直接お問い合わせ下さい。

●内容について

できるだけ科学的に間違いの無いようにしていますが、わかりやすく説明するために実際とは異なる記述もあります。また、科学的に証明がされていないことも述べていますので、ご自身でご確認されますようお願いいたします。

キリヤ色と化学の Q&A 内の情報のご利用により、万一何らかの損害が発生したとしても、当社は一切の責任を負いません。

<https://www.kiriya-chem.co.jp>