

化学物質や聴覚保護用「保護具選定アシストアプリケーション」の基本コンセプト検討

Basic concept study of "Protective equipment selection assist application" for chemical substances and hearing protection

製造技術開発部 デジタル技術グループ・DX 推進室 古屋敷啓一郎, 池川義紀, 久保田紗彩
人事部 健康推進センター 大岡朗, 塩田直樹(統括産業医)
情報システム部 システム企画・管理グループ 小郷正勝

Abstract

労働安全衛生規則の改正により, 化学物質を取扱う事業者は, より安全な化学物質への代替や除害設備の強化を優先する義務がある。しかし, それが不可能な場合には適切な保護具を使用して従業員の有害化学物質へのばく露を低減させる必要がある。現実には高分子材料で作られた保護具は時間とともに有害物質を微量ながら浸透させるため, 適切な保護具の選定が非常に重要になる。また騒音下での作業においても, 適切な聴覚保護具の装着が不可欠だが過度な遮音はコミュニケーションや警報の聞き取りに支障をきたす可能性がある。本報では, 多数の市販保護具製品の中から業務の内容や作業時間に適した保護具の選定を支援する「保護具選定アシストアプリケーション」の基本コンセプトを検討した。

key word: 労働安全衛生法施行令, 保護具, 保護衣, 手袋, 高分子材料, 物質拡散, 破過時間, Share point online, Power Platform

1. 緒言

国内で輸入, 製造, 使用されている化学物質は数万種類にのぼり, その中には危険性や有害性が不明な物質が多く含まれ, 化学物質を原因とする労働災害(がん等の遅発性疾病を除く。)は年間 450 件程度で推移しており, がん等の遅発性疾病も後を絶たない。それで, 2022 年 5 月 31 日より「新たな化学物質規制の制度」が導入され, 2024 年 4 月 1 日より, その中の「健康障害を起こすおそれのあることが明らかな物質を取扱う場合の保護具着用」が努力義務から義務に変わった。なお一般家庭向け製品のみを使っている場合は法律の対象外にはなるが, 従業員の健康障害予防のために保護具の着用が望ましいとされた。^[1]

2. 現状の保護具選定の課題

2.1. 化学防護

例えば, コーティングされた化学繊維製の保護衣やエラストマー製の手袋などが一般に有害な化学物質からの防護に使用されるが, これら保護具の素材である高分子材料は, 密度が極めて軽く軽量で柔軟性に富むが, 素材特性そのもの

に起因する化学物質の浸透現象を避けて通れず, 保護具としての使用可能時間は扱う化学物質が保護具素材内部を拡散移動速度によって大きく変化する。

したがって, 取扱う化学物質に適した保護具選定が必須ながら化学物質の安全データシート(Safety Data Sheet (SDS))には使用を推奨する保護具の具体的な記載は少ない。

それで化学物質を取扱う側が適宜安全であろうと考えられる保護具を自主的に選定しているが実際の破過時間を明確に把握できないままに使用しているのが実態である。また保護具を選ぶ際に対象とする化学物質の破過時間あるいは使用可能時間を実測で検証されたデータも多くはなく, 根拠のある選定は非常に難しい状況にある。

2.2. 騒音の聴覚防護

騒音も同様に管理区分ⅡまたはⅢに該当する作業場で作業する従事者らに適切な聴覚保護具の装着が必須だが聴覚保護具も騒音に適した特性のものを選ぶ必要がある。

遮音性能が足りなければ, 将来, 騒音性難聴のおそれ残り, 遮音性能が高すぎると周囲とのコ

コミュニケーションに支障をきたしたり、異常や危険を知らせる各種警報などが聴こえなくなったりしてしまう弊害を生じる。したがって聴覚保護具も各騒音下作業場の騒音に応じた適切な遮音性能のものを多くの市販品の中から探して選定する必要があるが、それも決して楽な作業ではない。

2.3. 保護具選定アシストアプリケーションの狙い

保護具選定アシストアプリケーションは、化学物質ごとに化学物質の破過時間の実測データがあるものは、その実測値を検索して返す、実測値がないものは数理モデルで計算した推定破過時間を返すウェブシステムである。

このシステムコンセプトの検証でプロトタイプ of ウェブサイトを試作し、コンセプトの狙う保護具選定の有用性や使い勝手等を検証した。

また化学物質同様に聴覚保護具も保護具の製造者が提供する等価騒音の遮音性能値やオクターブバンドの各帯域の遮音性能値を使い、各作業場の騒音値を具体的に入力すると保護具の遮音性能を反映させて、従事者の耳がさらされる騒音音圧を計算して、遮音性能不足や過剰遮音（オーバプロテクション）を自動で判定して表示するウェブシステムのプロトタイプを試作し評価した。

プロトタイプでは登録した保護具の数が少なく比較するような使い方にはならないが、従来なら厚生労働省が公開している化学物質の「耐透過性能一覧表」^[2]で調べたり、聴覚保護具は保護具製造者のウェブサイトを探して詳細仕様や性能値を一つ一つ調べて手計算したりしていた。

こうやって時間を費やして調べても該当する化学防護の評価結果がない場合は、結局調べたものの選定根拠がないままに、やむなく安全だろうと勝手に判断していたところを対象化学物質の分子量と保護具の材質で推定破過時間をその場で直ぐに定量的に返す仕組みは保護具を選

定する際に十分指標にできると評価された。

3. 化学防護用保護具の規定や要求

3.1. 皮膚等障害化学物質等へ直接接 触の禁止

令和 5 年(2023 年)8 月 30 日に公布された労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令(令和5年政令第 265 号)により、皮膚等障害化学物質等への直接接 触禁止が規定された。皮膚・眼刺激性、皮膚腐食性または皮膚から吸収され健康障害を引き起こしう化学物質と当該物質を含有する製剤を製造し、または取扱う業務に労働者を従事させる場合には、その物質の有害性に応じて、労働者に障害等防止用保護具を使用させなければならない。令和 5 年 4 月 1 日から努力義務、令和 6 年 4 月 1 日から義務化された。

この事業者への要求は、①健康障害を起こすおそれのあることが明らかな物質を製造し、または取扱う業務に従事する労働者に保護眼鏡、不浸透性の保護衣、保護手袋または履物等適切な保護具を使用させる、②健康障害を起こすおそれがないことが明らかなもの以外の物質を製造し、または取扱う業務に従事する労働者(①の労働者を除く)には保護眼鏡、保護衣、保護手袋または履物等適切な保護具を使用させる、となった。

この要求は、安全性が明確になった化学物質以外は適切な保護具を使用させなければならず、例えば水のように人体に対し絶対的に安全と判明しているもの以外は保護具を従事者に使用させる義務が事業者が生じている。

3.2. 化学物質の浸透現象

ここで有害な化学物質を絶対に透過させない素材で作られた保護具を選定できるなら、その素材の保護具を使用して、従事者を完全に包んでしまえば、有害な化学物質を取扱う従事者も有害な化学物質に触れることはなく作業ができる。

ところが一般的に入手可能な保護衣や手袋などの保護具は、身に着けるものなので重量が軽く、体の動きを極力阻害しない軽量な高分子材料の化学繊維やゴムなどのエラストマー材料で作られている。

高分子材料は非常に軽く、柔軟性、耐久性に富む優れた材料ながら、それは多くの高分子材料が比較的軽い水素、炭素、窒素、酸素などの軽い原子で構成され、さらに高分子間の原子密度が低い自由体積を比較的大きく持つことによる。

それで高分子材料には種々の化学物質が時間経過とともに溶解して分子レベルでの侵入を許してしまう。一旦、高分子材料中に侵入した化学物質は濃度をドライビングフォースにして、濃度の高い側から低い側に移動していく。これを物質拡散という。エラストマー製手袋であれば、手袋の外表面が高濃度側であり、手袋の内表面が低濃度側になる。

化学物質を取扱う作業で手袋の外側に付着した化学物質は、手袋のエラストマー内に分子レベルで溶解し、手袋の内表面側に移動する。手袋の内表面に達した化学物質は、内表面から放出されるようになり、この状態になると手の皮膚に化学物質が付着する。この状態に至ると保護手袋としての機能を失っている。

したがって手袋を含む保護具は、表面に付着した有害な化学物質が保護具の素材内を拡散浸透して、保護具内面に到達するまでが実質の使用可能時間であり、その使用可能時間がある程度正確に知ることが化学物質からの防護に極めて重要である。

3.3. 厚生労働省推奨の化学防護具の選定

厚生労働省から皮膚障害等防止用保護具の選定マニュアル^[3]が公開されている。このマニュアルでは化学物質の透過に関する詳しい知識を持たない労働者にも理解しやすいように保護具の破過時間を4段階に分類して提示し、さらに◎

○△×で作業分類と作業時間に応じた耐透過性能別に選定ガイドをしている。Table 1にその区分を示す。多様な化学物質に対し「耐透過性能一覧表」は、この区分で概略の使用時間を教えてくれる。

Table 1 耐透過性能の区分^[3]

凡例	定義 (JIS T 8116に基づく)	平均標準破過検出時間 (JIS T 8116に基づく)
◎	耐透過性クラス 5 以上	240 分超
○	耐透過性クラス 3、4	60 分超 240 分以下
△	耐透過性クラス 1、2	10 分超 60 分以下
×	不適合	10 分以下

この方法は、これまで保護具の破過時間を全く考慮していなかった場合には大変解りやすく、特に破過時間が極端に短い保護具を安全上の観点から排除する場合には有効である。それゆえ、実質の作業時間に関わらず、衛生管理者や保護具着用管理責任者が選定する際に安全側に捉えて、△より○、○よりは◎の保護具を心理的に選ぶ可能性は十分にある。また例えば、破過時間が59分の保護具は△になり、61分の保護具は○になる。仮に作業時間40分の場合は、どちらも安全に防護するのだが、マークの印象で○を選ぶことが圧倒的に多くなるだろう。ここで「耐透過性能一覧表」の破過時間データのソースとしているJIS T8116のクラス分けはTable 2のようになっており、「耐透過性能一覧表」はこれをさらに括ってしまったがゆえに破過時間の区切りで大きな段差になっている。

当社のような化学企業では保護具を装着させる作業の種類は多く、例えば、数分で済むような製造途上における化学製品の検査用試料の少量サンプリングから数時間に及ぶ製造装置の分解清掃など多岐にわたる。

「耐透過性能一覧表」が不適合とする×(10分以下)や△(10分超、60分未満)でも、その

作業時間から実は何ら安全上問題のない作業も多々ある。

企業としては、教育訓練を行ない作業時間の個人差が皆無で明確になっている定型作業において、破過時間がその定型作業時間を下回らない限り、保護具の破過時間が10分以下であっても一律に不適合(×)とするのは保護具コスト抑制の観点から問題がある。

Table 2 耐透過性能クラス JIS T 8116^[4]

性能	クラス	平均標準破過点検出時間 (min)
良	6	>480
	5	>240
	4	>120
	3	>60
	2	>30
悪	1	>10

これらは保護具選定の初心者向けに解り易さを優先したがために破過時間を大きなステップ状の区分けにした弊害である。特に複数の候補となる保護具がある場合は、破過時間を数値で扱える方が作業時間や購入コストと比較しながら選択時の総合評価がやりやすい。

なお、「耐透過性能一覧表」が現時点で網羅している化学物質は1140種類であり、化学物質の一部に過ぎない。これは順次拡充されていくと考えられるが、自らが扱っている化学物質の耐透過性能データが必ずここに揃っているとは限らない。現状は、ないことも多いのが実情であろう。

当社考案の保護具選定アシストアプリケーションは、保護具製造者の提供する破過時間データ参照や参照すべき破過時間データがない化学物質でも推定使用時間値を返す。

多くの要素が絡む化学物質の透過現象を単純で一義な推測は困難ながら全く何も根拠となるものがない状態で安全な保護具を選べというのも酷な話であり、それを補う意味があると考えている。

ここまで保護具の素材内に有害な化学物質が

移動する現象や保護具選定の課題を説明した。それを理解すると保護具は使い始めてからの経過時間管理が極めて重要であり、実際に作業で使った時間ではないことが理解できよう。また有機溶剤を含む微量でも揮発する特性を持つ化学物質は、直接、保護具でその化学物質自体に触れなくても、目に見えない揮発したガス状の化学物質が保護具表面に自然に吸着する。その場合も保護具の素材内に溶解浸透していくので油断は禁物である。

ただし、保護具の内表面に化学物質が到達して内表面から放出が始まったとしても多くの場合直ちに人体に悪影響はしない。多くの化学物質は、そのばく露濃度の管理値や許容濃度未満であれば、通常問題は生じにくい。ばく露濃度と人体の反応性への影響を Fig.1 に示す。

ところが一般的に多くの人に悪影響が出ないとする作業場の許容濃度を遥かに下回る濃度であっても皮膚等障害化学物質のように非常に微量で人体が嫌悪影響を示すことが知られており^[5]、このような場合は単に保護具を装着する管理だけでは防ぎきれものではない。取扱う化学物質の分子が保護具の素材内の浸透に要する時間を正確に把握して、内表面に化学物質が到達する前に保護具の使用を止め、保護具を更新しないとごく微量の化学物質ばく露による悪影響を防げない。

本田ら^[5]によると樹脂原料であるビスフェノール A、スチレンモノマー等の低用量腹腔内暴露がアトピー性皮膚炎を憎悪し、中には臓器毒を指標に決定された既報告の無毒性量の数百分の一という低用量ばく露がアトピー性皮膚炎を悪化させる化学物質が存在するとしている。その概念を Fig.2 に示す。ここで Fig.2 は、本田ら^[5]を参考に著者がばく露濃度とアレルギー症状への影響を概念化した図である。

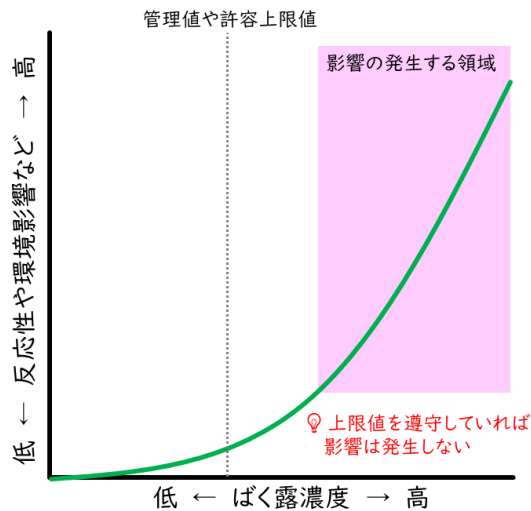


Fig.1 化学物質のばく露濃度と人体や環境影響の関係

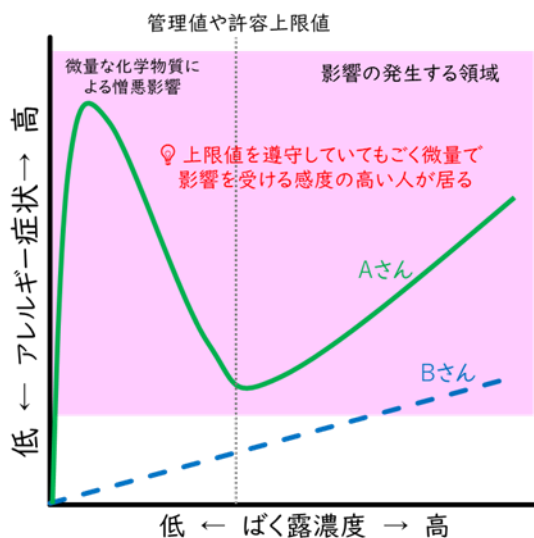


Fig.2 皮膚等障害化学物質のような化学物質のばく露濃度と人体影響との関係 (本田らを参考に著者が概念化)

なお従事者の健康障害予防が最優先ながら頻繁な保護具の交換は、従事者の作業負担を増やし、保護具に費やすコスト増大にも繋がる。したがって保護具の交換は、化学物質の破過時間を理解して、必要最小限になるようにし、安全を盾に過度の早期交換を推奨するものではない。

3.4. 化学物質の溶解・拡散挙動

表面に付着した化学物質が、保護具の素材内

に溶解して侵入した後、濃度の高い領域から濃度の低い領域への分子が移動する挙動を拡散という。

化学物質の拡散は、濃度勾配に従う受動的な挙動であり、特にエネルギー必要としない。それゆえ大きな圧力勾配を設けたりしないで使用する多くの保護具の場合は、保護具外表面が付着した化学物質で濃度が最も大きく、一方、保護具内表面の濃度が0となっているので、自ずと保護具内外で大きな濃度勾配が生じた状態で使用することになる。それで化学物質は保護具内面に向かって移動する。それを図示すると Fig.3 に示すような状況になる。

特に注意すべきことは、外表面に付着した化学物質が保護具の素材内に一旦、溶解して移動を始めると、その化学物質移動は保護具内外の濃度勾配で移動を続ける。これは、化学物質を扱うのに保護具を使い始めて途中で使用を中断しても一旦保護具の素材内に溶解した化学物質は移動を続けていることを表し、保護具は使用時間の累積ではなく、使用開始後の経過時間で管理すべきことがわかる。

特にごく微量でも健康障害を引き起こす可能性がある皮膚等障害化学物質などは保護具内面側の到達時間未満に使用時間を制限する必要がある。

そうすると皮膚等障害化学物質のように非常に微量で人体が嫌悪影響を示す化学物質に対しては保護具の破過時間を定量的に事前に知ることが極めて重要である。

一方、厚生労働省から化学物質防護用手袋選択を支援する耐透過性能一覧表^[2]が提供されている。2024年2月時点で1140種類の化学物質に対する保護具の適性が掲載されているが、リスクアセスメント対象物は令和8年4月1日施行分を含めると2276種類^[6]が規定されている。また令和6年4月1日施行の労働安全衛生規則第594条の2で規定する皮膚等障害化学物

質で特別規則に基づく不浸透性の保護具等の使用義務物質リスト^[7]は計 1149 種類の化学物質を規定している。

3.5. 高分子材料内の化学物質の拡散浸透モデル

保護具の表面に付着または吸着した化学物質が保護具の素材内を浸透する現象を前項で説明した。この化学物質が保護具の高分子材料内に溶解して拡散浸透する現象を拡散モデルで説明する。

保護具は、高分子材料である化学繊維とエラストマーフィルムコーティングの複層構造や合成ゴムなどエラストマー材料を手袋形状に成形したものが常用されている。ここで高分子材料の分子レベルの構造をみると Fig.4 に示すように長い高分子鎖が複雑に絡み合っている。

非晶性の高分子材料は、高分子鎖が絡み合っているだけで特定の決まった構造を取っていない。その高分子鎖間には自由体積と呼ばれる微小な空間を有し、溶解した化学物質は自由体積部分を移動していく。また自由体積部分に入りこんだ化学物質の種類によっては高分子鎖間を拡げたりするような膨潤を引き起こし、それにより自由体

積がより大きくなると拡散している化学物質の移動速度が加速する。

一方、同じ高分子材料でも結晶化した部分は化学物質の侵入を許さず、侵入した化学物質は結晶部分を迂回するようにして非晶部分を移動する。

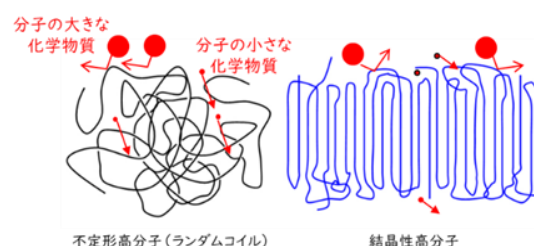


Fig.4 高分子材料の構造と化学物質の拡散挙動

3.6. 化学物質の拡散に影響する因子

一般的に保護具の素材である高分子材料内に侵入し、その内部を拡散で移動する化学物質の分子は、分子量(=分子の大きさ)、温度、相溶性、高分子構造、高分子材料のガラス転移点温度、結晶化度などの影響を受ける。

化学物質の分子自体が小さい、すなわち分子量が小さいほど透過しやすく、温度は高いほど拡散速度が大きくなる。また高分子材料と化学物

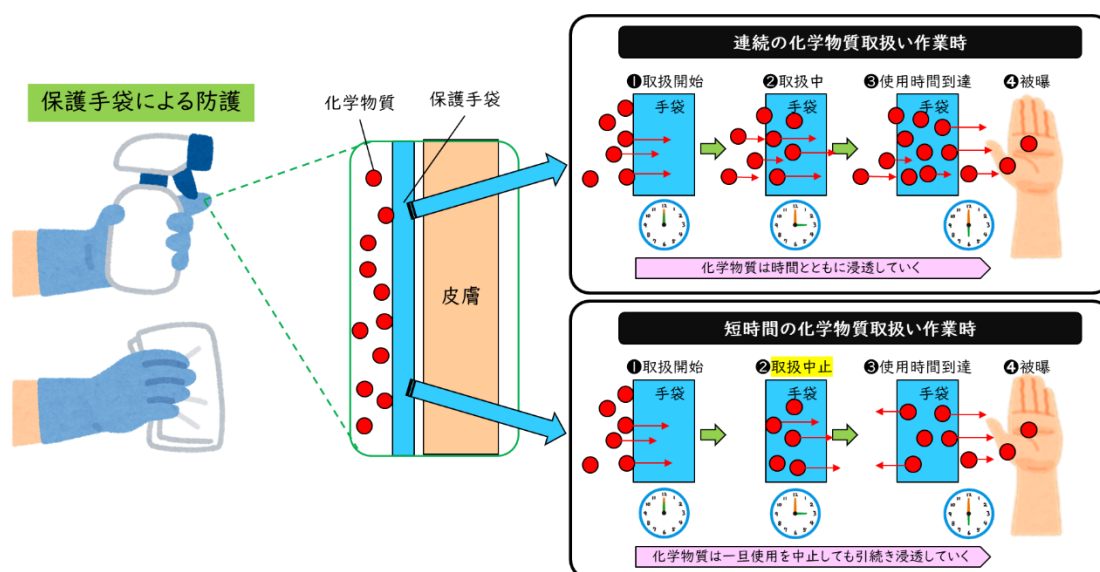


Fig.3 保護具に付着した化学物質の拡散挙動

質の相溶性が高いほど拡散係数が速まる。高分子材料の使用時の分子構造も影響し、不定形高分子ではランダムコイル状態よりも高分子鎖が特定の方向に配列した配向状態の方が拡散速度は速くなる。さらに使用時温度が高分子材料のガラス転移点温度よりも高いゴム状態は、ガラス転移点温度より低いガラス状態よりも拡散速度が早くなることが知られている。

それゆえ高分子材料内の化学物質の拡散速度は一律に決まらない難しさがあるが、保護具として身に着けて使用する温度は体温近傍の 36℃前後で概ね一定であり、高分子構造は保護具として使用する高分子材料選定や製造時の成形加工法で概ね決まる。したがって、保護具材料として適用する高分子材料と製造方法が決まった時点で拡散速度に影響する変動因子の多くが固定され、保護具として使用する状態においては、化学物質の拡散速度に関する主要パラメータは、実質、相溶性と分子量のみになる。

なお相溶性は、保護具の高分子材料と拡散浸透する化学物質の組合せなので、それぞれの組合せを実際に計測するしかないが、簡易的には保護具の高分子材料を取り扱い対象とする化学物質に浸漬して、相溶性が極端に高ければ、高分子材料は目に見えて膨潤したり、極端な場合は溶解したりするので、その高分子材料は浸漬した化学物質の保護材料に適さないことが容易に判断できる。ゆえに保護具としての使用に耐える相溶性の範囲は限られている。

そうすると保護具の高分子材料内に侵入する化学物質の拡散速度に影響する主要な因子は実質分子量になる。

そうならば未知の化学物質の拡散速度は、分子量をパラメータにして、拡散速度が既知の化学物質の分子量から大まかに推定できる可能性がある。厳密な意味での拡散速度推定ではないが、保護具の概算使用時間の指標程度には耐える可能性がある。

3.7. 未知の化学物質の拡散速度推定

ここで気体や液体中の分子の拡散速度と分子量の関係は、古くからグレアムの法則が知られている。

ここでグレアムの式を(1)に示す。式(1)から既知の参照物質/保護具材料の拡散速度と分子量から取り扱い物質/保護具材料の拡散速度と分子量の関係を導くことが可能である。

通常、工業的に使用する化学物質で分子量すら不明なものを扱うことは皆無であり、安全データシートを見れば分子量は必ず記載されている。したがって、拡散速度が未知の化学物質であっても分子量さえ解れば、破過時間を既知の化学物質から推定できる。

グレアムの式(1)と、ガス透過試験等で使用されるタイムラグ法の式(2)を用いて、破過時間を求めるモデル式(3)を導出した。

$$\frac{r_{Ta}}{r_{ref}} = \frac{k_{Ta}}{k_{ref}} = \sqrt{\frac{M_{ref}}{M_{Ta}}} \quad \dots\dots(1)$$

$$T_p = \frac{L^2}{6 * k_{Ta}} \quad \dots\dots(2)$$

記号：

r_{Ta} : 取り扱い物質の拡散速度

r_{ref} : 参照物質の拡散速度

k_{Ta} : 取り扱い物質/保護具材料の拡散係数

k_{ref} : 参照物質/保護具材料の拡散係数

M_{Ta} : 取り扱い物質の分子量

M_{ref} : 参照物質の分子量

T_p : 保護具材料の破過時間

L : 保護具材料の厚み

これらの式を組み合わせると式(3)になる。また式(3)を変形し、破過時間から保護具の厚みを求めるのが式(4)になる。

$$T_p = \left(\frac{L^2}{6 * k_{ref}} * M_{ref}^{-0.5} \right) * M_{Ta}^{0.5} \dots (3)$$

$$L = \left(\frac{T_p}{M_{Ta}^{0.5}} * 6k_{ref} * M_{ref}^{0.5} \right)^{0.5} \dots (4)$$

タイムラグ法の破過時間とは試料の片面すなわち保護具の外表面に化学物質が接触して試料内部を化学物質が移動し、試料の対面から化学物質が放出し始めるまでの時間差を指す。Fig.5 は、破過時間の測り方を示している。保護具の用途においては、この破過時間が保護具を安全に使用する際の限界時間になる。

式(3)は、拡散係数と保護具の厚みから破過時間を計算できる。一方、材質と破過時間から式(4)を使って保護具の厚みを求めることができる。式(4)で得られた値より厚い保護具を選択すれば安全である。

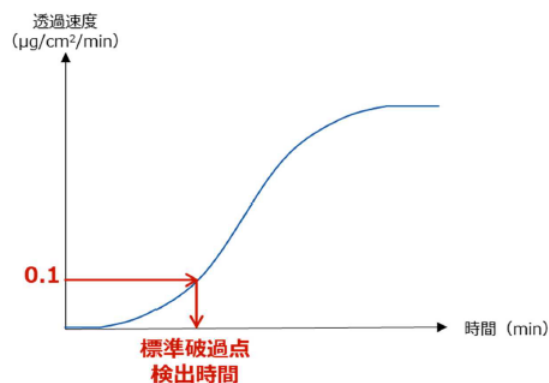


Fig.5 化学防護手袋の破過曲線

拡散係数は、材料の種類と溶解する化学物質の組合せで変わるが、それらの拡散係数のデータは便覧などに多くの研究者による実測値が報告されているので既知の組合せにおいては、報告されている拡散係数から容易に破過時間を計算できる。

一方、拡散係数が未知の化学物質の場合は拡散係数が既知の化学物質を参照物質にして、式(3)から破過時間を推定する。

石井、廣木^[8]は、この方法による未知の化学物質の破過時間導出を化学防護手袋協会が協会会員に公開している「ケミカルインデックス 2022 年調査データ」に登録しているデータを使い実際に検討した。

「ケミカルインデックス 2022 年調査データ」には化学防護用手袋の製造者が計測した化学物質の破過時間が収録されており、材質ごとに Fig.6 に示す要領で保護具材料の参照化学物質の拡散係数を統計的に導いたのちに分子量と破過時間の関係を計算した。他の保護具材質でも検討しているが、ここでは手袋等で多用されるニトリルゴムの計算結果を取り上げた。Fig.7 の計算において参照化学物質はアセトンである。

石井、廣木は、「ケミカルインデックス 2022 年調査データ」の掲載データ利用時に材質が同じで異なる製造者を比較した結果、材質が同じであれば得られた拡散係数は概ね同じであることを確認している。

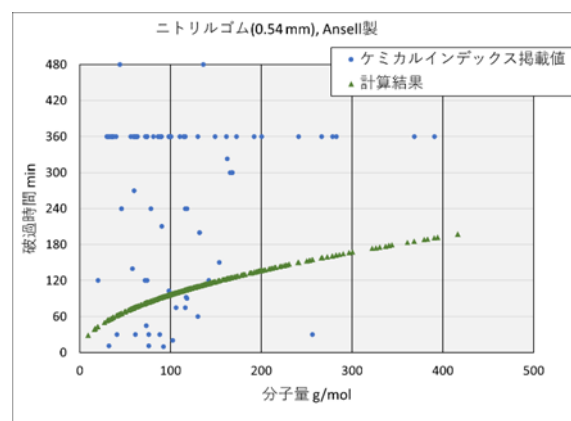


Fig.6 ニトリルゴムの分子量と破過時間の関係

3.8. 安全な化学物質用保護具の選定方法

Fig.7 にこの保護具の使用可能時間推定手法を利用する場合の保護具選定フローを示す。優先すべきは保護具製造者が開示する実測に基づく対象の化学物質の使用可能時間であるが、そのような実測データがない場合には化学防護手袋研究会が有償で公開している「ケミカルインデ

ックス 2022 年調査データ」に掲載の同材質、同程度厚みの他社保護具の実測データがあれば、それを参照して準用する。

対象とする化学物質の実測された使用可能時間が全く不明な場合は、上述の数値モデル式を用い、既知の化学物質の拡散係数から未知の化学物質の拡散係数を求め、保護具の推定使用可能時間を導出して運用する。

特に皮膚等障害化学物質のような微量でも従事者に接触させたくない場合に保護具の使用可能時間を推定値ではあるが定量的に提示できる。

4. 聴覚保護用保護具の選定

4.1. 聴覚保護具の遮音性能表示

作業場の騒音評価は、等価騒音法による測定が広く行われている。また聴覚保護具は、2020 年から新たに国際規格 ISO 4869-1 に準拠した JIS T 8161-1,-2:2020「聴覚保護具(防音保護具)」が制定され、性能表示として以下の 3 種類に北米 EPA の規格による NRR がある。したがって国内に流通している聴覚保護具は計 4 種類の性能表示が行われている。製造者によりカタログ表示の仕方はさまざまであるが、ここに

挙げたすべての遮音性能の場合もあれば、いずれか一つしか表示されていない場合などさまざまである。各社の遮音性能表示例を Fig.8, 9 に示す。

- A) APV:オクターブバンドで想定される周波数ごとの遮音値で表示(125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000Hz)
- B) HML:高域, 中域, 低域周波数遮音値を H, M, L で表示
- C) SNR:全周波数領域で一つの遮音値表示(ISO, JIS)
- D) NNR:全周波数領域で一つの遮音値表示(北米 EPA)

ここで聴覚保護具の選定の難しさは、騒音管理区分Ⅱ,Ⅲの作業場の騒音値に対して従事者の耳がさらされる騒音値を等価騒音法であれば、70~85dB の範囲にする保護具の選択を求められている。85dB を超えれば、将来に騒音性難聴発症のおそれ残り、70dB を下回るとオーバープロテクションでコミュニケーション不良や警報などの失聴等を招くので望ましくない。

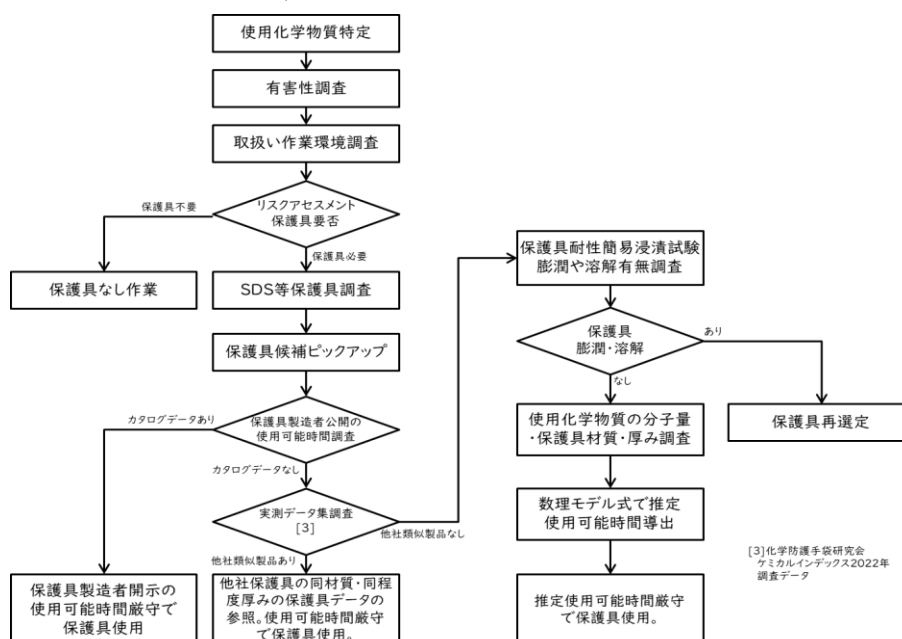


Fig.7 保護具の使用可能時間の求め方



Fig.8 (株)重松製作所の製品表示例 [9]

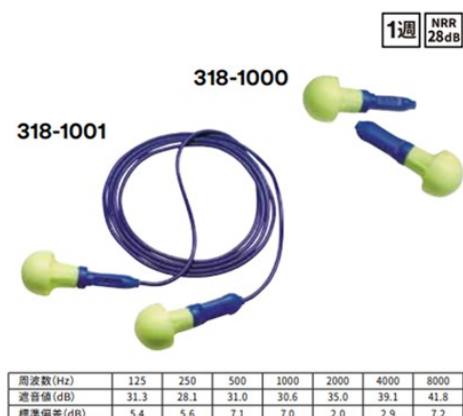


Fig.9 スリーエム ジャパン(株)の製品表示例 [7]

具体的には作業場の騒音状態を正確に把握した上で市販されている多くの聴覚保護具から遮音性能が過剰でなく不足もない好適な聴覚保護具を探し出す必要がある。多くの聴覚保護具の遮音性能をインターネットで迅速に検索できる時代ではあるが製造者も違う多くの製品群から遮音性能表を個別に見ながら遮音性能の過不足を調べるのは手間の掛る作業になっている。

現在、聴覚保護具の各製品を銘々が個別に調べ、手計算で遮音後のばく露音圧を確認する繰り返し作業を行なっている。またはオーバープロテクションを意識せずに遮音性能が高いものを選んでるのが実態である。

5. 保護具選定アシストアプリケーションの開発コンセプト

5.1. 基本コンセプト

イントラネット上に既知の使用可能時間データがない化学物質用保護具や聴覚保護具の選定を手助けするウェブサイトを構築し、多くの従業員が定量的に効果を確認しながら安全な保護具を短時間で選定できるようにする。

5.2. コンセプト実証検証結果

5.2.1. 保護具選定アシストアプリケーションの Proof of Concept (PoC)

前章まで化学物質用保護具の安全な使用可能時間の調べ方や定量的な推定方法を記した。また騒音作業場で従事者が使用する聴覚保護具の選定は過不足ない好適なものを選ぶ必要性を述べた。これらを従業員誰もが利用できる環境での使い勝手の検証を実際にウェブサイト上に作製して検証した。その試作サイト画面を Fig.10 に示す。試作サイトは、マイクロソフト社の Power Platform 上に Power Apps で制作した。

化学物質用の使用可能時間は、画面 A に対象とする化学物質を設定する。データが登録されている化学物質は画面 B に該当する化学物質ごとの使用可能時間が各製造者の保護具製品ごとに返してくる。

登録された化学物質がない場合は、次の推定計算サイトに画面 C に移行する。使用時間を推定したい保護具の種類を選び、手袋であれば画面 D に移行し、保護具の材質、厚み、分子量を入力すると使用可能時間を計算して返すようにしている。

聴覚保護具は、登録されている保護具を選ぶと製品の写真やカタログ仕様が表示される。それから作業場の具体的な騒音値を入力する。ここには等価騒音値またはオクターブバンドの各周波数帯の騒音値である。それらのデータを用いて

これらを実際にサイト上で少ないが保護具のデータ他を登録して使い勝手を検証した結果、化学物質用、騒音用とも操作は簡単で計算結果を直ちに自動で返すので非常に使い勝手がよいことを確認できた。また保護具の厚みを変えたり、保護具製品を変更したりする際の効果もその場で直ぐに比較できるので保護具選定に非常に効果的であった。

5.3.1. 利用者設定

5.3.2. 利用シーン設定

5.3.4. システムのハードウェア設定

5.3.5. システムの出力

5.3.6. 保護具選定アシストアプリケーションポータル

[illegible]

Fig.10 保護具選定アシストアプリケーションの試作ウェブサイト

ある。

これら一連のアシストアプリケーションがイントラサイトに分散していると使い勝手が悪くなる。そこで、Fig.11 に示すように今後準備する一連の保護具選定アシストアプリケーションのポータルサイトを準備し、多くの従業員らが、このサイトに来れば保護具選定の一連の確認作業が直感的に行え、さらに化学物質以外の保護具選定アシスト周知も行なう。

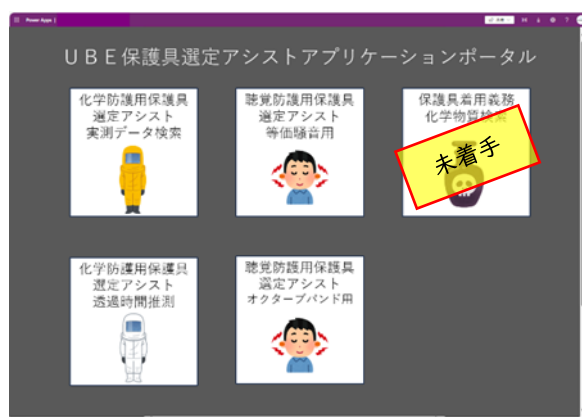


Fig.11 保護具アシストアプリケーションポータルサイトイメージ

6. 結言

保護具選定アプリケーションは、構想後に実際にウェブサイト上にPoCで自社サイトを試作して使い勝手等を確認した。その結果、従来のカタログを見ながらの選定作業を迅速かつ定量的に効果を見ながらできることまで確認できた。

また作業性の改善で材質や厚みなどの仕様変更、異なる製造者の保護具の使用可否を検討する際にも活用できる。ユーザが各アプリケーションの使い方に慣れてしまえば、保護具の簡単なシミュレーションも可能であり、これまで漠然と選んでいた保護具を化学物質の破過時間や実際に耳が曝される騒音音圧を具体的に確認しながら選定できるようになると保護具の選び方を大きく変えることにも繋がる。

また保護具は企業活動にとってコストであり、健康障害予防で安全なものを選んで着用が必

須ながら、少しでも安価なものを選ぶ必要がある。

それにはオーバープロテクションな高価な保護具を防護性能が確実な安価なものに代替したり、作業性の向上で想定作業時間内において保護性能が十分な薄手のものに代替したり、などコストを意識しながらも安全な保護具選定に貢献できる。

本システムは、2024 年度末を目標に正式に運用版を構築する予定である。

引用文献

1. 厚生労働省、都道府県労働局、労働基準監督署。労働安全衛生法の新たな化学物質規制 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令等の概要。令和 5 年年 3 月。
2. 厚生労働省。皮膚障害等防止用保護具の選定マニュアル 第 1 版、参考資料 2「耐透過性能一覧表」。(オンライン) 2024 年。(引用日: 2024 年 12 月 5 日.) <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.mhlw.go.jp%2Fcontent%2F11300000%2F001216987.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>.
3. 一。皮膚障害等防止用保護具の選定マニュアル 第 1 版。東京都：厚生労働省、2024 年。
4. 日本規格協会。JIS T8116:2005、化学防護手袋。東京都：日本規格協会、2005。
5. 専門医のためのアレルギー学講座、4.環境化学物質とアレルギーに関する研究の進展。本田晶子、小池英子、柳澤利枝、井上健一郎、高野裕久。9、東京都：日本アレルギー学会、2014 年、第 63 巻、ページ: 1205-1214。
6. 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所。職場の化学物質管理総合サイト ケミサポ。リスクアセスメント対象物の一覧。(オンライン) (引用日: 2024 年 12 月 5 日.) <https://cheminfo.johas.go.jp/step/list.html>.
7. 厚生労働省。皮膚等障害化学物質(労働安全衛生規則第 594 条の 2(令和 6 年 4 月 1 日施行))及び特別規則

2025 年 3 月

に基づく不浸透性の保護具等の使用義務物質リスト。(オンライン) 2023 年 11 月 9 日. https://ubeglobal-my.sharepoint.com/:x:/r/personal/27429u_ube_com/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B3756C1FD-56CE-4EDA-9A79-ACA47837848C%7D&file=001216989.xlsx&action=default&mobileredirect=true&wdPreviousSession=f9a97b5b-2b3d-43d7-b1e2-6c8db2b06495&wdOri.

8. 石井靖之, 廣木鉄郎. 技術報告 化学保護手袋の破過時間予測モデルの作成. 出版地不明 : UBE株式会社 技術開発部 デジタル技術グループ, 2024.

9. 株式会社重松製作所. 聴覚保護具(防音保護具)カタログ. (オンライン) 2022 年. <https://www.sts-japan.com/products/catalog/pdf/bouon.pdf>.