

化学物質リスクアセスメントツールの開発

藤井 邦彦^{a)}、中村 修^{b)}

^{a)} 筑波大学総務部リスク・安全管理課〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{b)} 九州工業大学安全衛生推進室〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

概要

平成 28 年 6 月の改正労働安全衛生法施行に伴い、化学物質のリスクアセスメントが義務化された。健康障害防止のリスクアセスメントは、一般的に作業環境中の化学物質濃度とその物質のばく露限界を比較することにより行う。しかし、測定には手間と費用がかかることや、測定方法やばく露限界が定められていない対象物質も存在する。そこで、コントロールバンディングおよび数理モデルを用いた簡易にリスクアセスメントを行えるツールを開発した。

キーワード: リスクアセスメント、コントロールバンディング、数理モデル

1. はじめに

平成 28 年 6 月に労働安全衛生法が改正された。この改正により、労働安全衛生法施行令別表第 9 に掲げる物質(平成 28 年 6 月 1 日時点で 640 物質)について、容器又は包装へのラベル表示、安全データシート (SDS) の交付、およびリスクアセスメントが義務化された。これに伴い、厚生労働省は化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針を策定した¹⁾。化学物質のリスクアセスメントには、爆発・火災防止と健康障害防止の 2 種類があるが、特に注意すべきなのはリスクを把握しにくい健康障害防止であると言える。

指針では、リスクを見積もる方法として以下を挙げている。

- ① 危険や健康障害が発生する可能性とその重篤度を考慮する方法
- ② 化学物質によるばく露の程度と有害性の程度を考慮する方法
- ③ ①または②に準じる方法

各項目について具体的には以下をそれぞれ実施する。すなわち、①では発生可能性や重篤度を尺度・数値化し表や加算・乗算などによりリスクを見積もる方法、またはコントロールバンディングによる方法、②では作業環境測定の測定値や数理モデルによる気中の物質濃度とばく露限界¹⁾を比較する方法、③では労働安全衛生法関係法令(有機溶剤中毒予防規則、特定化学物質障害予防規則、鉛中毒予防規則および労働安全衛生規則第 4 章等)の各条文を確認する方法をそれぞれ挙げている。なお、コントロール

バンディングおよび数理モデルによる評価方法については後述する。

指針に掲げられた上記リスクアセスメント方法のうち、②の作業環境測定や③の法令の確認では具体的に実施すべき事項が定められているものの、その化学物質数は対象物質である 640 物質中のごく一部である。多くのリスクアセスメント対象物質では、気中濃度の測定方法が確立されていないことや、ばく露限界が定められていないことから、これらの物質では他の方法を用いてリスクアセスメントを行う必要がある。

そのための手段として、厚生労働省では、国際労働機関 (International Labour Organization, ILO) のコントロールバンディングの翻訳およびウェブアプリケーション化による公開²⁾や、中央労働災害防止協会の開発したコントロールバンディング方法の資料を公開している³⁾。この中央労働災害防止協会の方法については、福井大学工学部の技術職員がウェブアプリケーション化し一般に公開している⁴⁾。

本学では、改正労働安全衛生法への対応のため、実験室ごとに化学物質の種類と量を調査し、その結果に応じて、作業環境測定、簡易測定、コントロールバンディングおよび数理モデルのうちいずれかを推奨するリスクアセスメント方法として実施することとなった。しかし、ウェブアプリケーションでは結果の表示までに時間がかかることや、同時アクセス数の制限により、複数の研究室が同時にはリスクアセスメントができなくなる可能性があること、また、数理モデルによる評価は、数式に不慣れな教職員や学生にとっては敷居が高いことが考えられた。さらに、労働安全衛生法の改正によるリスクアセスメントの義務化は、化学物質の危険有害性を知るための手段であり、本来の法改正の目的はその後の対策にある。従って、リスクアセスメント自体は可能な限りコストをかけずに行うことが望ましいと言える。そこで、これらの問題のクリアを目的としたパーソナルコンピュータ (PC) 用のリスクアセスメントツールの開発を行った。

2. リスクアセスメント方法とその原理

2.1 健康障害防止のリスクアセスメント

先に述べた通り、健康障害防止のリスクアセスメントでは、ばく露限界と、実際の実験室中の化学物質の濃度とを比較することによって行う。比較の結

¹⁾ ばく露限界とは、激しくない労働強度で 8 時間労働した場合に、ほとんどすべての人に健康障害が起きないとされる気中の化学物質濃度のことであり、日本では日本産業衛生学会が勧告している許容濃度、米国では米国産業衛生専門家会議 (ACGIH) が勧告している閾値 (TLV-TWA) がある。単位は mg/m³ や ppm で表される。

^{a)} E-mail: fujii.kunihiko.ga@un.tsukuba.ac.jp

²⁾ http://anzeninfo.mhlw.go.jp/ras/user/anzen/kag/ras_start.html

³⁾ <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/kagaku3.pdf>

⁴⁾ http://roukan2.ad.u-fukui.ac.jp/risk_assessment/RA_system.php?type=site0

果、実験室中の化学物質濃度がばく露限界を超える場合には健康障害が起きる確率が高くなるため、ばく露防止のための対策を講じる必要がある。

以下に今回作成したツールに実装したコントロールバンディングと数理モデルによる評価方法の概略について示す。

2.2 コントロールバンディング

コントロールバンディングとは、主にばく露限界の定められていない化学物質や、簡易にリスクアセスメントを行う場合に用いるツールで、化学物質の有害性、揮発・飛散性、取扱量からリスクの大きさをランク分けして評価する方法である。今回開発したツールでは、中央労働災害防止協会が開発した方法（管理目標となる職業性ばく露限界が設定されていない場合で作業環境測定値等の実測値がない場合^[2]）を用いた。本法では、化学物質の SDS に記載されている GHS (化学品の分類および表示に関する世界調和システム, The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) 分類の健康有害性の分類結果からばく露限界に対応する濃度として管理目標濃度を求め、この濃度と化学物質の沸点、使用温度、作業時間・頻度、揮発・飛散性、取扱量、換気状態、および作業方法をパラメータとして求めた実験室中の化学物質濃度を比較してリスク評価を行う。

2.3 数理モデル

数理モデルでは、ばく露限界と作業中に蒸発散した化学物質量が既知または推定可能な場合に計算式から化学物質の気中濃度を推定する方法である。数理モデルでは、いくつかの計算方法があるが、本ツールでは元厚生労働省化学物質国際動向分析官の柳川行雄氏が開発したボックスモデルによる方法⁵を氏の許可のもと利用した。

この方法では、化学物質の気中濃度を使用した物質の蒸発散量を作業時間中の実験室の換気量で除して計算し、この結果とばく露限界を比較することによりリスク評価を行う。詳しい計算方法については

氏のウェブサイトに掲載されている。

3. リスクアセスメントツールの開発

3.1 プラットフォームと使用言語

厚生労働省や福井大学のように、近年はウェブアプリケーションが主流となってきている。ウェブアプリケーションは、サーバー上で起動しているプログラムにウェブブラウザからアクセスして利用するため、Windows や macOS などのオペレーティングシステム (OS) を選ばないことや、起動しているプログラム自身は一つであることからプログラムのバージョンアップによる配布について気を使わなくて良いことなどの利点がある。しかし、一方では常にサーバー上でプログラムを走らせておく必要があるため、同時アクセスによる負荷およびサーバーやプログラム本体のセキュリティ対策について対応する必要があり、さらに専用サーバーを用意している場合には、ハードウェアや OS の定期的な更新が必要となるなどプログラム開発とは別の負担が大きい。特に個人による自作プログラムの場合、保守まで含めた運用のできる人材が必要であり、継続性が問題となっている。

このような問題から、本ツールではスタンドアロン型のデスクトップアプリケーションを開発することとした。プラットフォームはユーザー数の多い Windows、使用言語は C# とし、開発には Visual Studio 2015 を使用した。現在、Visual Studio ではストアアプリと呼ばれる Universal Windows Platform (UWP) アプリと Classic Windows Form アプリの 2 種類が開発できる。UWP アプリは今後の主流となっていくと思われるが、未だ UWP アプリを利用できない Windows7 のユーザーも多いことから、Classic Windows Form アプリで開発することにした。対応 OS は、2016 年 4 月現在でサポート期間中である Windows Vista 以降とした。



図 1. リスクアセスメントツールの画面

⁵ http://sr-yanagawa.sakura.ne.jp/document/pdf/20160518_yanagawa_1zonemodelIRA.pdf

2. 使用条件設定
1で選択した化学物質の使用条件等を入力し、リスク判定ボタンをクリックします

物性

融点: 85 °C
沸点: 125 °C
引火点: 138 °C
発火点: N/A °C

作業条件

使用温度: 20 °C
状態: 固体
作業時間: /日
作業頻度: /週

揮発性・飛散性

多: 微細な軽い粉体
 中: 結晶状・顆粒状
 少: 壊れやすいペレット

※液体では沸点と使用温度から自動的に選択されます

取扱量

多: ton
 中: kg
 少: g

換気状態

高度な密閉設備
 密閉設備
 局所排気装置(囲い式)
 局所排気装置(外付け式)
 全換気(自然換気含む)
 換気なし

作業方法

作業者の手足・作業着に使用物質による汚染がある
吹き付け作業等使用物質の散布があり、発生源に動的な動きがある(スプレー噴霧など)

有害性レベル(物質のハザード格付け H₂L₂) 5 S
有害性レベルから見た管理目標濃度: 0.001未満 mg/m³
ばく露レベル(8h-EEL修正済 EL1) --- (-)
8時間の推定ばく露濃度の範囲: --- mg/m³
8時間の推定ばく露レベル 8h-EEL ---
取扱量カテゴリ ---
揮発性・飛散性カテゴリ ---
作業方法による修正 8h-EEL修正 ---
作業時間・作業頻度による修正 8h-EEL修正 ---

【注意事項】
本リスク評価手法は、中央労働災害防止協会のJISHA方式を採用・利用しております。
※詳細なフラックボックス化を所望する場合は、本プログラムを利用する大学等機関の安全衛生所長等担当者へ、[中央防衛大学の研究の受渡](#) を推奨します(筑波大学では受講済です)。

リスクレベル RL

結果の見方
リスク判定

2. 使用条件設定
1で選択した化学物質の使用条件等を入力し、リスク判定ボタンをクリックします

物性

密度(d): 1.122 g/cm³
分子量(M): 71.08
ばく露限界(L): ACGIH TWA: 0.03mg/m³

計算結果

1日当たりのばく露量(w): --- g
酸化した時の体積(V): --- L
推定空気中濃度(C): --- ppm
修正後の許容濃度(D): --- ppm
許容濃度との比(r): ---
判定結果(R): ---

作業条件等

作業温度(T): 20 °C
換気量(O): m³/h
1日の作業時間(W): 18時間
作業中のばく露量(m): mL
換気状態(r): 局所排気装置の利用
安全係数(s): 10

リスクレベル RL

結果の見方
リスク判定

【注意事項】
このボックスモデルで行えるリスク評価は、呼吸による吸入ばく露(評価のみ)です。したがって、経皮吸収のばく露には対応していません。また、評価にあたり以下の条件を満たす必要があります。
・使用量ではなく、揮発等により発散した化学物質の量が既知である、または推定できる
・換気装置等による室内の換気量が既知である、または推定できる
また、本モデルは、柳川行雄氏(元・厚労省化学物質対策課 化学物質国際動向分析官)が作成したボックスモデルを基に許可の下、改良して利用させていただきました。
詳細については、[こちら](#)の資料をご覧ください。他にも安全衛生に関する記事をR₁₀執筆されています。
[実務家のための産業保健のサイト](#)

図 2. リスクアセスメントのパラメータ入力および結果表示画面
コントロールバンディング (左) および数理モデル (右)

3.2 画面デザイン

画面のデザインに当たっては、物質名、物性、GHS 分類、法規、リスクアセスメントに必要なパラメータ、および結果等の情報を一画面で見られることを目標とした。近年の Windows PC の解像度を調べたところ、タブレット端末を除き WXGA⁶ (1,280 × 800 ドット) 以上のものが多いことから、このサイズに収まる 1,266 × 730 ドットでデザインした。ウィンドウ左半分には法規および GHS 分類データ、画面右に物質検索、パラメータ入力、およびリスクアセスメント結果を表示するようにした(図 1)。

後からリスクアセスメント方法を追加できるように、物質選択画面、法規および GHS 分類表示欄は共通とし、コントロールバンディングと数理モデルの各リスク評価方法はタブで切り替えて表示するようにした(図 2)。また、コンボボックス、ラジオボタンおよびチェックボックスを用い、ユーザーの入力負担をできるだけ軽くするように心がけた。

3.3 化学物質データベースと選択方法

前述の通り、コントロールバンディングでは SDS に記載されている情報をリスク評価に用いる。しかし、1 物質ずつ SDS を確認しながら GHS の分類、物性および管理目標濃度等を入力することは多品種の化学物質を取り扱う大学の研究室では大変な労力を伴う。そこでリスクアセスメント対象物質のデータベースを整備することにした。

GHS 分類のデータは平成 18 年より製品技術基盤機構から政府による GHS 分類結果として HTML および Excel の両形式で提供されている⁷。そこで、Excel ファイルをダウンロードし、マクロを利用して GHS 分類データを抽出した。なお、開発時点では 1 物質 1 シートで記載されており、全てのデータをそろえるためには、平成 18 年度分より各年度のデータをダウンロードおよびマージした

上で抽出を行う必要があった。しかし、平成 28 年 11 月 16 日に公表された全年度のデータでは、項目ごとに全物質のデータが 1 シートにまとめられ、より取扱いやすい形で公開されている。

抽出した GHS 分類データに試薬メーカーが提供している SDS 等から物性・法規データ、および日本作業衛生学会が勧告しているばく露限界値^[3]を加えて物質データベースとした。

アプリケーション上ではコンボボックスを用い、化学物質の CAS 番号または物質名にて物質を検索できるようにした。化学物質を検索・選択するとその物質に対応する GHS 分類、物性、ばく露限界、法規等の各データをデータベースから抽出し表示する。なお、物質名については、ユーザーの利便を図るため、部分一致でも検索が可能となるようにプログラムコードを追加した。また、物質データベースに収録されていない物質についても評価できるように GHS 分類等を手動入力できるようにした。

3.4 GHS 分類項目の自動表示

GHS 分類のうち、GHS 絵表示 (9 種類)、注意喚起語 (危険または警告の 2 種類)、および危険有害性情報 (物理・化学的危険性、健康有害性および環境有害性の 3 種類)については GHS 分類結果により自動的に決まる⁸。そこで、これらの表示については物質データベースには組み込まず、GHS 結果から計算するプログラムコードを追加し、データベースのコンパクト化を図った。

3.5 リスクアセスメント結果の表示

コントロールバンディングおよび数理モデルの両評価方法の結果は、I~IV の 4 段階のリスクレベルとして示すようにした。リスクレベル I および II は、許容可能なリスク、リスクレベル III および IV は許容できないリスクである。前者では現在の作業環境を保ちリスクを低く抑えること、後者ではばく露防止対策を行い、リスクを低減することがそれぞれ

⁶ Wide eXtended Graphics Array, 画面解像度の規格

⁷ http://www.safe.nite.go.jp/ghs/ghs_download.html

⁸ http://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ghs_class.html

れ求められる。一般的なばく露防止対策についてはメッセージボックスで示すようにした。また、リスクレベルに応じたあんしーくん（仮）の顔アイコンを表示し、視覚的にリスクレベルを分かりやすくした。

リスクアセスメント結果は CSV (comma-separated values) テキストファイルとして出力し、結果を再利用できるようにした。

3.6 更新機能の実装

スタンドアロン型アプリケーションの問題点として、各ユーザーがダウンロードしたバージョンの管理が難しいことがあげられる。特に GHS 分類結果は毎年更新されていることや、プログラム上にバグがあった場合、間違ったりリスクアセスメント結果を表示してしまう可能性があることから更新機能は必須である。近年のスマートフォンアプリおよび Mac や Windows などの一部のアプリについてはストアを利用した自動更新機能が備わっているが、本アプリケーションのような Classic Windows Form アプリではその機能を自前で用意する必要がある。

そこで更新確認機能を実装した。アプリケーションは、起動時に環境安全管理室のウェブサイト上に設置したバージョン番号が書かれたテキストファイルを読み込み、アプリケーション自身のバージョンと比較する。バージョンが異なる場合には更新のアラートを出し、ダウンロードページを表示するようにした。なお、ネットワークに接続していない PC でアプリケーションを起動した場合には定期的に更新促すアラートを出すようにした。

4. 公開後の状況について

本アプリケーションは学内を除き積極的な一般公開はしていないが、大学等環境安全協議会実務者連絡会⁹等を通じ、関係者へは SNS や会合等で紹介している。

そこで、利用実態についてダウンロード数を調べた。ダウンロード数は環境安全管理室ウェブサイトのアクセスログから推定した。ログ閲覧プログラムではアプリケーションファイル (zip ファイル) へのアクセスログが取れなかったため、ダウンロードページにアクセスしたホスト数について重複を除いて計数し、ダウンロード数とした。集計期間はアプリケーション公開日の 2016 年 7 月 19 日から 2016 年 12 月 1 日とした。

集計の結果を表 1 に示す。全アクセス数は 1,384 アクセスで、そのうち検索エンジンおよび同一ホストからのアクセスを除いたユニークアクセス数は 403 アクセスであった。大学・研究機関のうち、本学のユニークアクセス数は 57 であり、多くの研究室が本アプリケーションを利用してリスクアセスメントに取り組んでいることが考えられた。また、本学以外の大学・研究機関は 54 機関であり、これらの機関では同一機関で数十のユニークアクセスのある期間もあり、本アプリケーションがリスクアセスメント方法として有効に活用されているものと考えられた。

表 1. アプリケーションのダウンロード数

種別	機関数	DL 数
大学・研究機関	55	294
官公庁	3	3
民間企業等	27	29
一般アクセス (プロバイダ)	--	77
合計		403

5. おわりに

化学物質リスクアセスメントの義務化によって、大学はもちろん、多くの企業で法律への対応を行っている。本アプリケーションはその対応方法として有効に活用されていると考えられる。今後は有機溶剤中毒予防規則や特定化学物質障害予防規則等の掲示や、物質ごとの危険有害性表示をグラフィカル表示・印刷する機能等を実装し、教育ツールとしても活用できるように改良したいと考えている。

しかし、はじめにでも述べた通り、本年 6 月の法改正で真に必要なことはリスクアセスメントではなくその後のリスク低減対策であると考えられる。従って、今後はリスクアセスメントツールの提供だけでなく実効性のあるリスク低減対策についても指導・情報の提供をしていきたい。

謝辞

本ツールの開発に当たり、許容濃度の電子データを提供いただきました筑波大学総務部リスク・安全管理課シニアスタッフの柏木保人氏、貴重な情報の提供および助言をいただきました東京工業大学大学マネジメントセンター特任教授の橋本晴男氏、数理ボックスモデルの利用を快諾いただきました元厚生労働省化学物質国際動向分析官の柳川行雄氏、そしてかわいらしいアイコンを作成いただきました総務部リスク・安全管理課の直江かをり氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 厚生労働省通知 (基発 0918 第 3 号), 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針について (2015)
<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11200000-Roudoukijunkyouku/0000098259.pdf>
- [2] 中央労働災害防止協会 (2016) 『テキスト化学物質リスクアセスメント』中央労働災害防止協会
- [3] 産業衛生学会, 許容濃度等の勧告 (2016 年度), 産業衛生学会誌 58(5) (2016) 181-212.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/sangyoisei/58/5/58_S16001/_pdf

⁹ <http://www.daikankyo-eng.org/public/>

Development of Chemical Risk Assessment Tool

FUJII, Kunihiko^{a)}, NAKAMURA, Osamu^{b)}

^{a)}Division of Risk Management, Department of General Affairs, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

^{b)}Safety and Health Promotion Office, Kyushu Institute of Technology,
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu, Fukuoka, 804-8550 Japan

A new Industrial Safety and Health Act have been enforced on June 1, 2016. This law make employers obligatory to evaluate the physicochemical and health risk ascribable to chemical agents. In a general way, aerial concentration of the chemical agent is compared with its exposure limit on the evaluation of the risk on the health problem. But there are many agents that have not been established the method of measuring or the exposure limit. In this case, it should be assessed by estimating hazard and toxicity.

In this report, development of the chemical risk assessment application using control banding and mathematical model is described.

Keywords: Risk assessment, Control banding, Mathematical model