

災害調査報告書

A-2012-02

大阪府の印刷工場における
疾病災害

平成 24 年 8 月 31 日



独立行政法人
労働安全衛生総合研究所

1. はじめに

大阪府内の印刷工場の地下1階の作業場で校正印刷業務を行っていた労働者に胆管がんが発症した災害について、胆管がん発症と当該事業場における校正印刷業務との因果関係を推定するため、厚生労働省から独立行政法人労働安全衛生総合研究所（安衛研）に依頼された照会事項は

- (1) 作業場所での環境測定
- (2) 有害物質の使用状況（ばく露状況も含む。）の調査
- (3) その他原因究明に必要な事項

である。

これらを検討するために、当該作業場における空調システムの測定・評価、使用されている化学物質の環境測定と作業者のばく露測定、過去に主として使われてきた化学物質の使用状況や空調システムを含む当時の施設・設備状況を考慮した上でばく露状況を推定するための模擬実験を実施することとした。なお、これらの調査を実施するに当たり、その正確性を期すために、校正印刷業務で用いられる（あるいは用いられた）化学物質に関する情報、作業場の作業環境や作業状況などについて、厚生労働省から情報を入手して、調査計画を立案した。

2. 実施した調査の項目等

2. 1 調査項目

2. 1. 1 空調システムの測定・評価

当該事業場における校正印刷作業は地下1階で実施されているため、給排気を含む空調システムの状況について、測定・評価を実施する必要がある。そのために、6月7日に事業場に赴いて、空調システムの状況把握と給排気口における制御風速の測定等を行った。制御風速の測定には、熱線式風速・風量計 testo 425（テストー）と風速計 ISA-90N 型（柴田科学）を用いた。

2. 1. 2 現在の校正印刷作業における気中濃度測定

校正印刷の作業では多数のインクと印刷機のローラーやブランケットを洗浄する化学物質が用いられている。当該事業所は、1991年より現在の場所に移転し、現在の地下1階で校正印刷作業を行ってきたとのことだが、この当時から使用されてきた化学物質は様々に変遷している。施設・設備に関しては、2006年と2008年の紫外線乾燥機（以下、UV校正機とする。）の導入とともに、空調システムが増設されている。ここでは、まず、現状の校正印刷作業の労働衛生上の課題を評価するため、現在使用されているインクや洗浄剤などの化学物質の使用状況調査、作業環境測定、労働者の個人ばく露測定を実施することとした。

5月28日と6月7日の調査から、本事業所ではインクが約200種類あまり、

印刷機のローラーやブランケットの洗浄剤として 8 種類使用されているが、これらの化学物質の使用量・頻度などを検討した結果、主要な洗浄剤の MSDS から最も含有量の多いシクロヘキサンを選び、今回の作業環境測定や個人ばく露測定を実施することとした。なお、シクロヘキサンは有機溶剤中毒予防規則上の測定義務が課せられている化学物質ではない。作業環境測定は作業環境測定基準に準じて室内の 6 か所を選び、個人ばく露測定は 2 名の作業者に協力してもらい実施した。

シクロヘキサンの作業環境と個人ばく露は固体捕集法によって測定・評価した。捕集管はガステック社の活性炭チューブ（球状活性炭、No.258）、ポンプは Pocket Pump（SKC 社）を用い、流量及び吸引時間は 50ml/min、60 分間である。活性炭チューブで捕集したシクロヘキサンを二硫化炭素 1ml で脱着し、GC-MS（サーモフィッシャーサイエンティフィック社、Trace GC 2000 - Polaris Q）とキャプラリーカラム（バリアン社、CP-PoraBOND Q；内径 0.32mm、長さ 50m、膜圧 50 μ m）を用いて定量分析した。なお、定量分析の条件等は以下のとおりである。

- ・注入口：220 $^{\circ}$ C、スプリットレス方式
- ・キャリアガス：ヘリウム 90kPa 圧力一定
- ・カラムオープン温度：100 $^{\circ}$ C（1min hold） \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 210 $^{\circ}$ C \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 280 $^{\circ}$ C（7min hold）
- ・イオン源：250 $^{\circ}$ C
- ・検出・定量方法：選択イオン検出法（SIM）、保持時間 22.2 分 [m/z=56,69,84]

また、作業環境測定には活性炭チューブを用いた固体捕集法－GC-MS の他に、検知管を用いた測定（ガステック社のポンプとヘキサン検知管（No.102L））も合わせて実施した。

2. 1. 3 当時の労働者のばく露を推定するための模擬実験

有害要因による健康影響を検討する際に、疫学調査や事例報告など、人への健康障害に関する有害性情報は最も重要な情報である。当該事業場の校正印刷作業に従事していた労働者がどのような有害要因に、どの程度ばく露したのかに関する情報は、有害因子と疾病発症の関連を検討する上で極めて重要である。しかしながら、空調システムを含む当時の施設や設備の環境、当時用いていた有機溶剤の種類・使用量・使用状況などには調査中で不明な点が多く、これらを正確に反映した再現実験を実施することは極めて困難であるため、現在得られている情報に基づいて実際の労働現場で模擬作業を行い、作業環境測定や個人ばく露測定を実施することは、当時の当該事業場の作業環境や有機溶剤へのばく露状況を推定する上で有用な情報を提供してくれる。

まず、模擬実験を実施する空調システムについては、5月28日と6月7日の事業場訪問による事前調査の情報をもとに、UV校正機をオフにしてUV排気

系を稼働させず、全体循環系と校正印刷機の床下排気系・排気ダクトの2系統の空調システムを稼働させることとした。UV排気系は1991年の移転当初から2006年以降のUV校正機の増設までなかったため、今回の模擬実験ではUV排気系を稼働させないこととした。

模擬実験で使用する有機溶剤についてであるが、1991年の移転以降、疾病発症との関連が疑われている有機溶剤、ジクロロメタン（以下「DCM」という。）と1,2-ジクロロプロパン（以下「DCP」という。）の混合物、あるいは、単品で使用されてきたという情報をもとに検討することとした。しかしながら、限られた時間で、使用されていた有機溶剤の全ての組み合わせを実施することは不可能であるため、今回の模擬実験ではDCMとDCPを混合し（各々容積比で53.6%と46.4%）、1時間当たり1.75リットル（1.75ℓ/hと表記する。）を使用することとした。なお、実験条件を1.75ℓ/hと設定した理由は、使用された有機溶剤や使用量の増減などを考慮して、環境濃度の推定を行うためである。

今回行った模擬作業では、実際に使用している校正印刷機のブランケットをDCMとDCPの混合物で拭き取ることはせず、校正印刷機のブランケットの洗浄作業を行う位置で、DCMとDCPの混合物をタオルに染みこませ、あらかじめ用意したアルミ板の拭き取り作業を行った。なお、この模擬作業を行う場所は作業場に6カ所設け、A・Bの2グループに分かれて、3分間に1回の割合（実際の拭き取り時間は1分間）で順次場所（A1→A2→A3、B1→B2→B3）を移動しながら拭き取り作業を実施した。

今回の模擬実験では、DCMとDCPを対象に作業環境測定は室内6カ所の定点を選び、A・Bの2グループに分かれて模擬作業を行った安衛研職員を対象として個人ばく露測定を実施した。

DCMとDCPの作業環境と個人ばく露は固体捕集法によって測定・評価した。捕集管はガステック社の活性炭チューブ（球状活性炭、No.258）、ポンプはPocket Pump（SKC社）を用い、流量及び吸引時間は50ml/min、30分間である。活性炭チューブで捕集したDCMとDCPをオルト・キシレン1mlで脱着し、GC-MS（サーモフィッシャーサイエンティフィック社、Trace GC 2000 - Polaris Q）とキャプラリーカラム（バリアン社、CP-PoraBOND Q；内径0.32mm、長さ50m、膜圧50μm）を用いて定量分析した。なお、定量分析の条件等は以下のとおりである。

- ・注入口：220℃、スプリット方式（スプリット比38:1）
- ・キャリアガス：ヘリウム 90kPa 圧力一定
- ・カラムオープン温度：100℃（1min hold）→5℃/min→210℃→15℃/min→280℃（7min hold）
- ・イオン源：250℃

・検出・定量方法：選択イオン検出法（SIM），DCM 保持時間 11.5 分 [m/z=49, 51, 84, 86]，DCP 保持時間 23.3 分 [m/z=62, 63, 76]

また、作業環境測定には活性炭チューブを用いた固体捕集法の他に、検知管を用いた測定（ガステック社のポンプと DCM 検知管（No.138））もあわせて実施した。

2. 2 調査の実施時期及び実施・解析体制について

事業所に赴いて作業内容や化学物質の使用状況などについて事前調査を 5 月 28 日に行った。6 月 7 日に空調システムの測定・評価、6 月 30 日に現在の校正印刷作業での作業環境測定と個人ばく露測定を実施した。

7 月 1 日には、事業所の協力のもとに、実際の勤務のない日を選んで、当時の労働者のばく露を推定するための模擬実験を実施した。

なお、今回の災害調査の立案・実施及び測定結果の解析・分析には、研究企画調整部の甲田茂樹首席研究員と環境計測管理研究グループの菅野誠一郎部長をはじめ、環境計測管理研究グループ、有害性評価研究グループ、人間工学・リスク管理研究グループに所属する合計 11 名の研究員が携わった。

3. 調査結果

3. 1 空調システムの測定・評価

6 月 7 日と 6 月 30 日の現状の校正印刷作業での作業環境測定と個人ばく露測定時の空調システムの測定結果を図 1 に示した。この校正作業室には全体循環系と校正印刷機の床下排気系＋排気ダクト（排気ダクトは校正印刷機 5（図 2 参照）に付属して設置されており、排気量も少ないため、両者を一つの空調システムと見なした。）、UV 排気系の 3 系統の空調システムが存在していた。校正印刷機の床下排気系と排気ダクトは通常の校正印刷作業を実施している時に稼働している空調システムであるが、UV 排気系は UV 校正機を使用している時のみに稼働する空調システムであり、相当量の排気量であった。最後に室内の 3 か所から排気している全体循環系であるが、室内より出される空気は外部に排気されることなく、外気と混じり合って再度室内に供給されていた。その意味では、室内空気に供給する空気はもともとの校正作業室内の空気が還流しており（ここでは還流と表現したが、もともとの校正作業室内の空気が外気によって希釈されているとも考えられる。）、校正作業室内の空気が有機溶剤で汚染されている場合、床下排気系＋排気ダクトや UV 排気系の二つの系では排気効果の少ないことが懸念される。

事前調査の 6 月 7 日と現状の校正印刷作業での作業環境測定と個人ばく露測定を実施した 6 月 30 日の床下排気系の排気量が異なる結果であった。この点について、事業所側は設備等の変更を行っていないとのこと

であったが、その真偽は確認できなかった。

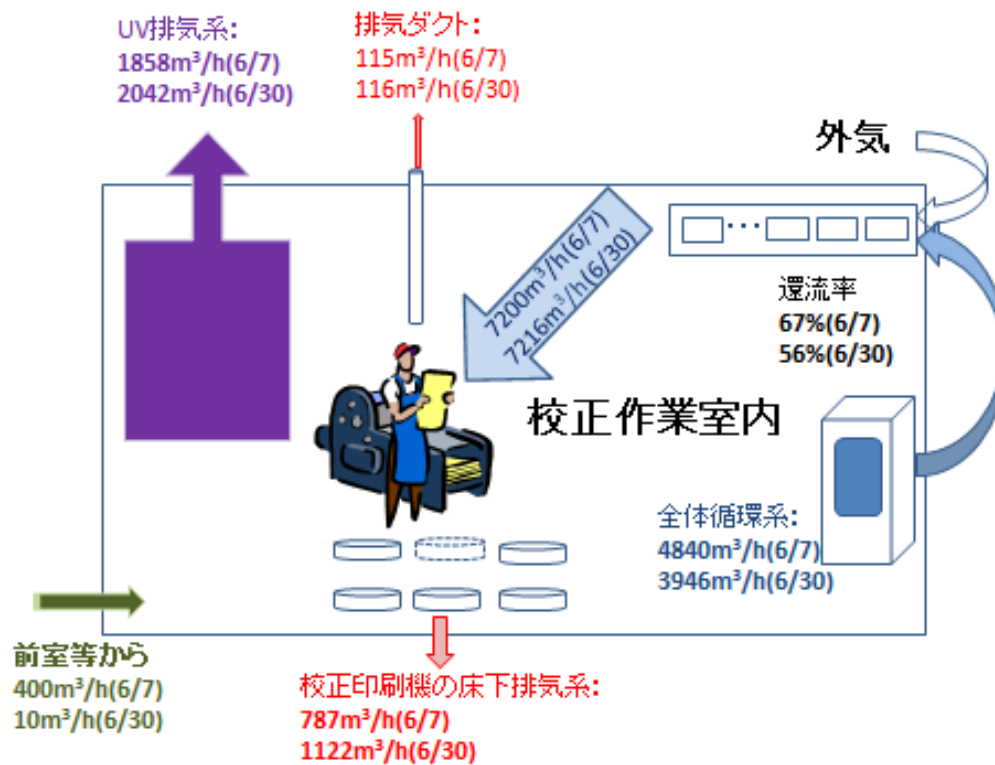


図 1. 6月7日と6月30日における換気状況

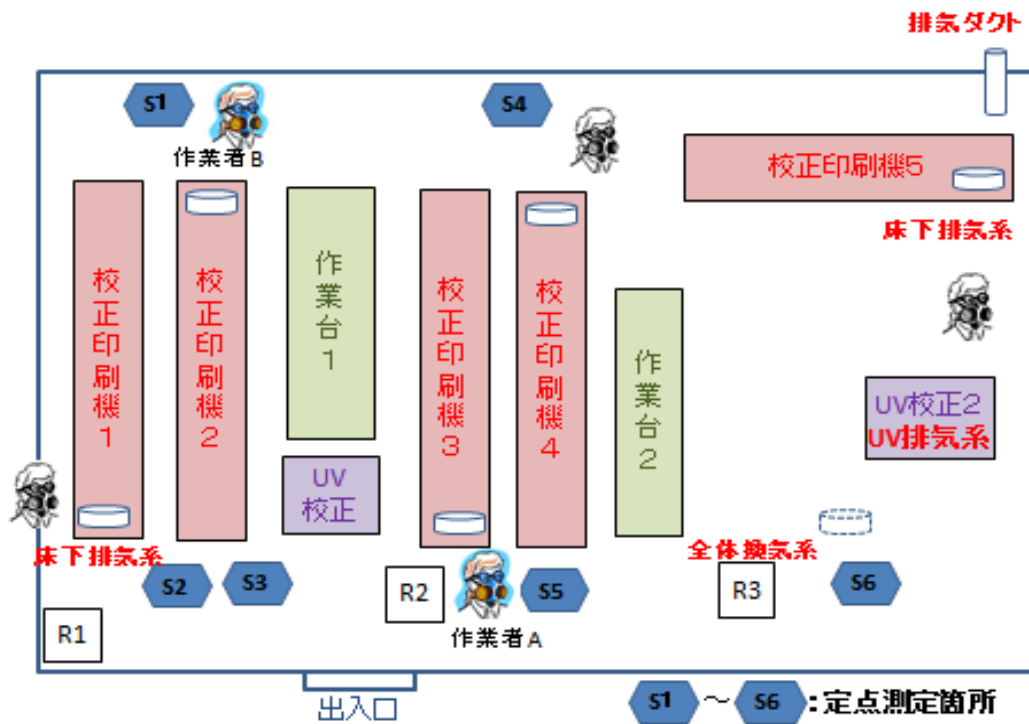


図 2. 現在の校正印刷作業の環境測定・個人ばく露測定の模式図

3. 2 現在の校正印刷作業の評価について

シクロヘキサンの作業環境測定を実施した定点 S1～S6 と個人ばく露測定を行った作業員 A と作業員 B の配置を示した校正作業室の模式図を図 2 に示した。測定当日は午後より作業環境測定と個人ばく露測定を開始した。個人ばく露測定は 5 名中 2 名の作業員に協力してもらい、作業員 A は校正印刷機 3、作業員 B は校正印刷機 2 を担当していた。作業員 A は校正印刷機 3 の床下排気系付近で、作業員 B は校正印刷機 2 の床下排気系付近でシクロヘキサンを用いたブランケットの洗浄作業は行っていた。

現状の校正印刷業務で使用しているシクロヘキサンの個人ばく露濃度と定点での環境濃度の測定結果を表 1 と表 2 に示した。なお、シクロヘキサンのばく露限度について、ACGIH は TLV-TWA（8 時間平均許容濃度）として 100ppm を提案している。

表 1. 個人ばく露測定結果と作業内容

作業位置	測定時間	ばく露濃度	作業内容等
作業員 A 校正印刷機 3	13:00～13:51	32ppm	ブランケット洗浄5回 インクこねとパレット掃除
	13:52～14:43	39ppm	ブランケット洗浄4回
作業員 B 校正印刷機 2	13:03～13:49	66ppm	ブランケット洗浄5回
	13:50～14:55	26ppm	前室で15分間打合せ ブランケット洗浄2回

表 2. 定点 S1～S6 の環境濃度

定点	固体捕集法(2回測定)		検知管法
S1	29ppm	19ppm	18～45ppm
S2	18ppm	16ppm	17～36ppm
S3	22ppm	17ppm	20～32ppm
S4	24ppm	26ppm	18～21ppm
S5	16ppm	18ppm	22～24ppm
S6	12ppm	14ppm	10～18ppm

個人ばく露濃度と環境濃度の測定結果を見ると、いずれも 100ppm を超えていないことが分かるが、両者を比較すると個人ばく露濃度の方が高く、ブランケット洗浄作業に伴って高いばく露が発生していることが分かる。個人ばく露濃度を比較すると、作業員 A では 30ppm 台であったが、作業員 B では 66ppm と高くなっていた。作業員 B の後半は校正作業室を離れ前室で 15 分間打合せを行っており、

洗浄作業も 2 回と少ないために低くなっていたが、前半の作業では洗浄作業が 5 回と作業員 A とさほど変わらないのに高いばく露濃度となっていた。このことは、作業員が特定の校正印刷機を担当するため、洗浄作業を行う場所に原因のある可能性がある。すなわち、3 系統の空調システムがもたらす不均一な拡散と排気によって室内空気に一部滞留が認められ、化学物質の気中濃度に高い場所と低い場所が発生していた可能性が考えられる。

今回の調査では測定対象をシクロヘキサンとしたが、シクロヘキサン以外にも灯油や炭化水素系溶剤などが使用されているため、これらの複合的なばく露を考慮すれば、シクロヘキサンの濃度が許容濃度を下回っていたからと言って、決して好ましい作業環境とは判断できない。作業場が地下室にあるなど構造上通風が不十分で、かつ、特殊な空調システムを関与していることを考慮すれば、労働者の健康障害を防止するためには、局所排気装置の設置などの作業環境面での対策、さらに、防毒マスク・保護手袋の着用や容器の開放厳禁など、作業管理面での対策により、ばく露防止対策を徹底させるべきである。

3. 3 模擬実験の結果について

模擬実験を実施した時の空調システムの状況を図 3 に示したが、UV 排気系を稼働させなかったため、全体循環系と床下排気系 + 排気ダクトの 2 系統である。そのため、校正作業室内への流入量から全体循環系と床下排気系 + 排気ダクトからの流出量を引くと、校正作業室内は陽圧状態になることから、結果的に前室との出入口の開閉や扉の隙間等から $1,934\text{m}^3/\text{h}$ が前室等へ漏出しているものと推測された。

模擬実験時の還流率は 56%であった。このような空調システムでは室内が有機溶剤にいったん汚染されると、全体循環系の給気口からも汚染空気が供給され、室内の有機溶剤の気中濃度をさらに上昇することが懸念されると指摘したが、このことを確認するために、模擬実験開始 2 時間の時点で、全体循環系の排気口 (R1、R2、R3) に近い S2、S3、S5 と全体循環系の給気口で有機溶剤の気中濃度を検知管法で測定した。DCM 検知管を用いて実施したため、DCM と DCP の 2 つの化学物質の影響が出ており、各物質の定量的評価はできないが、相対的な指標としては有用な情報を提供してくれる。DCM 検知管による測定値は S2 : 330ppm、S3 : 300ppm、S5 : 260ppm と全体循環系の給気口 : 200ppm であった。全体循環系の給気口から供給される空気は、排気口付近の空気の 60~70%程度に汚染されていることが確認できた。

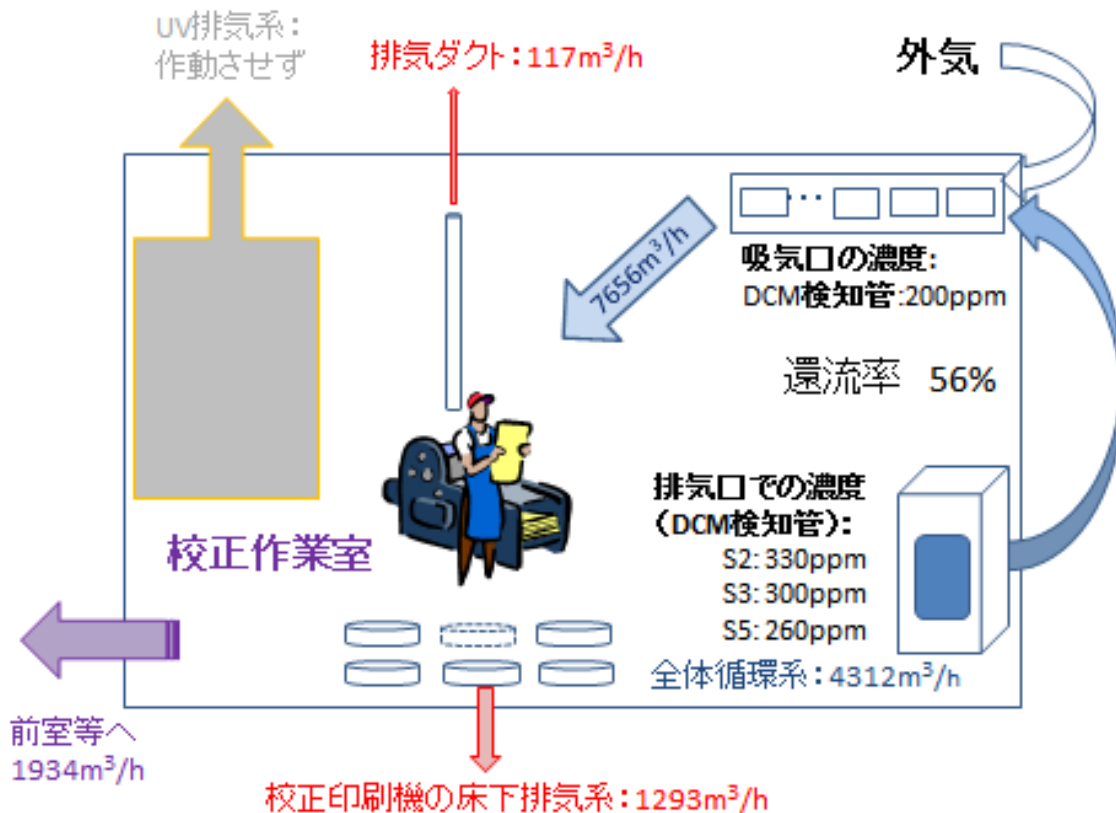


図 3. 模擬実験時の空調システムの状況

模擬実験で環境測定を実施した定点 S1～S6、ブランケット拭き取りの模擬作業を行った A・B エリアとアルミ板の位置等の模式図を図 4 に示した。さらに、図 4 に、定点 S1～S6 において測定した DCM と DCP の気中濃度を示したが、この気中濃度は模擬実験の開始後 1 時間半の値である。今回の結果では、6 つの定点の気中濃度は実験開始から徐々に上昇していったが、1 時間半の時点でおおよそ一定になったことから、1 時間半の値を平衡状態に達した環境濃度として図 4 に示した。各定点の環境濃度を見ると、S1 が最も高く、ついで S2～S4、S5、S6 で、S6 は S1 の約 3 分の 1 程度である。すなわち、校正作業室内で有機溶剤を用いた洗浄作業を行うと、気中濃度に 2～3 倍程度の高低差が生じていた。これは 2 系統の空調システムの不適切な配置等が均一な拡散と排気を妨げ、局所的な室内空気の滞留を起しやすくなっているためと推測される。

校正作業室の隣の前室において DCM と DCP の気中濃度を測定したが、その結果 DCM:90ppm と DCP:40ppm と S5 と同程度の値を示していた。これは、図 3 でも示したように、模擬実験では室内が陽圧になるため、校正作業室内の空気が前室に漏出したことによると推測される。

アルミ板を拭き取る模擬作業を実施した安衛研職員の個人ばく露測定の結果を表3に示した。なお、拭き取りの模擬作業はA・Bエリアの2つに分かれて実施したが（図4参照）、各グループ3名ずつ交代で模擬作業を行い、30分ごとに個人ばく露測定を実施しており、GC-MSで定量分析した活性炭管チューブはA・Bエリア各7サンプルである。

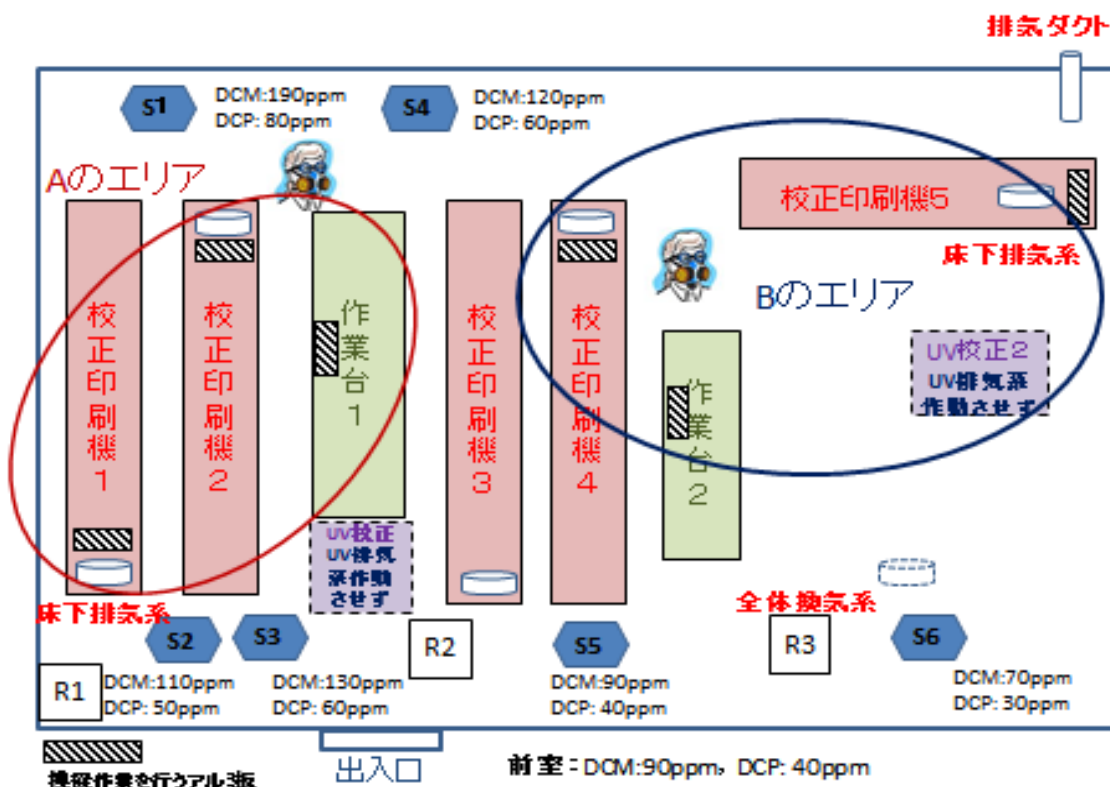


図4. 模擬実験時の環境測定・個人ばく露測定の模式図

表3に示すように、個人ばく露測定結果を見ると、DCMが平均値240ppm(130~360ppm)であり、DCPの平均値110ppm(60~210ppm)より高い値を示していたが、前出の環境測定(図4)でも同様の傾向が認められており、両者の混合比や蒸気圧・沸点等の物理的性質の違いによるものと推測された。A・Bエリアで比較すると、DCMとDCPのいずれもがAエリアで高くなっていた。環境測定結果で指摘したように、本作業場は特殊な空調システム下にあるため、室内の環境濃度に高低のむらが存在しており、S1あるいは校正印刷機2のアルミ板の場所を含むAエリアで模擬作業を行った職員の個人ばく露濃度が、Bエリアに比べて、高くなったのではないかと推測される。このことから、作業場所による違いは環境濃度だけでなく、個人ばく露濃度にも影響を与えていた可能性が示唆される。

今回の測定結果でみると、個人ばく露濃度は環境濃度の2倍程度になっていた。拭き取り作業が手元で行われ、作業者の呼吸域に近い位置で有機溶剤が蒸発しているため、個人ばく露濃度が環境濃度を大幅に超えて高くなったものと推測される。

表 3. 模擬作業における個人ばく露測定結果

	DCMの平均値±標準偏差 (最小値, 最大値)	DCPの平均値±標準偏差 (最小値, 最大値)
全体(A・Bエリア)	240±60ppm(130, 360ppm)	110±40ppm(60, 210ppm)
Aのエリア(A1～A3)	280±60ppm(230, 360ppm)	130±40ppm(90, 210ppm)
Bのエリア(B1～B3)	190±40ppm(130, 250ppm)	80±20ppm(60, 110ppm)
日本産業衛生学会 許容濃度	50 ppm	未設定
ACGIHのTLV-TWA*	50 ppm	10 ppm
U.S.NIOSHのIDLH**	2,300 ppm	400 ppm

* : TLV-TWA(The Threshold Limit Values-Time-Weighted Average) : 8時間平均許容濃度、慢性的な中毒症状など、慢性ばく露に伴う健康影響を防止する際の指標である。ACGIHは米国産業衛生専門家会議をさす。

** : IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health Concentration) : 生命への危険や急激な中毒症状など、急性ばく露に伴う健康影響を防止する際の指標である。なお、米国 NIOSH (国立労働安全衛生研究所) の HP (<http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>) を参照することで関連する情報が得られる。

4. 環境濃度の推定

4.1 物質収支モデルと完全混合モデルを用いた環境濃度の推定

今回の模擬実験において有機溶剤の使用条件を決めた経緯は限られた情報によるものであった。しかしながら、実際に当該事業所で使用されてきた有機溶剤の種類や使用量などは、時期によってまちまちであったことが推測される。ここでは、疾病発症との関連が疑われている有機溶剤に注目し、それらの種類や使用量が異なる場合、環境濃度がどの程度変動するのか、推定することとした。具体的には、DCMとDCPの混合溶剤、あるいは単品での使用、さらには使用量の増加に伴って、校正作業室におけるDCM、DCPの平均濃度を計算した結果を表4に示した。なお、今回の環境濃度の平均値の推定の前提は表4の脚注にも示したが、模擬実験を行った際の2系統の

空調システムを稼働させ、DCMとDCPの混合溶剤、あるいはDCM、DCPの単品を使用量に示した量を完全に蒸発させ、蒸発した有機溶剤が室内で均一に拡散したという条件の下での計算結果である。

DCMとDCPの混合溶剤が用いられ、その使用量が1.5ℓ/hから3.5ℓ/hに増えることで、DCMは90ppmから210ppmまで、DCPは51ppmから120ppmまで上昇し、DCMあるいはDCPが単独で用いられた場合、DCMは170ppmから400ppmまで、DCPは110ppmから260ppmまで上昇するという計算結果となった。

ちなみに、今回の模擬実験に一番近い使用量は1.7ℓ/hで、DCM:100ppm、DCP:57ppmと推定された。S1～S6の実測値はDCM:70～190ppm、DCP:30～80ppmであり、推定平均値は実測の値の間にあることが確認できた。

表 4. 溶剤の使用量と環境濃度の平均値の推定

使用量 (ℓ/h)	混合溶剤*を使用		DCMのみ使用 時の平均濃度	DCPのみ使用 時の平均濃度
	DCM平均濃度	DCP平均濃度		
1.5	90 ppm	51 ppm	170 ppm	110 ppm
1.7	100 ppm	57 ppm	190 ppm	130 ppm
2.0	120 ppm	67 ppm	230 ppm	150 ppm
2.5	150 ppm	84 ppm	280 ppm	190 ppm
3.0	180 ppm	100 ppm	340 ppm	220 ppm
3.5	210 ppm	120 ppm	400 ppm	260 ppm

*: 混合溶剤とは今回用いた DCM:53.6%と DCP:46.4%を指す。

- ・今回用いたモデルは、完全混合を仮定したもので、室内の平均濃度を推定するものである。
- ・全体循環系における流入量(7,656m³/h)から還流量(4,312m³/h)の差分3,344m³/hが換気速度で、用いた溶剤が全て蒸発するという前提のもとで、作業開始から1.5時間後の平衡濃度を計算した。
- ・換気に関与する室内容量は370m³である。

4. 2 有限要素解析(FEM)を用いた環境濃度の推定

模擬実験をした際の印刷室内における有機溶剤の移流・拡散状態を有限要素解析により計算し、印刷室内の任意の場所における有機溶剤の濃度推定および模擬実験時の溶剤濃度の測定点であるS1からS6における濃度推定を行った。解析手順は以下のとおりである。

まず、模擬実験当日の印刷室内における定常状態の気流分布を求めた。条件等の詳細は以下のとおりである。

- ・ $k-\varepsilon$ 乱流モデルを使用した。
- ・ 模擬実験当日の全体循環系、床下排気系の風量バランスの算定基礎となる給気口・排気口における気流速度を境界条件として与えた。
- ・ 全体循環系、床下排気系の給気口・排気口の位置は、設備図面等より、読み取れないものについては、調査写真より推定した。
- ・ 校正印刷機、作業台の寸法および配置は調査写真より推定した。

ついで、はじめに求めた定常状態における印刷室内の気流分布に対する有機溶剤（DCMとDCPの混合溶剤（容積混合比は53.6%：46.4%である。）、あるいはDCPの単剤）の移流・拡散状態を物質輸送方程式に従って有限要素法により計算した。条件等の詳細は以下のとおりである。

- ・ 濃度分布が安定化する定常状態を求めた。
- ・ 溶剤の発生場所は模擬実験における作業場所（計6か所）とし、それらの場所から同時かつ連続的に一定濃度（溶剤使用量から算出）の溶剤が発生するものとした。
- ・ 空調設備系に対して以下の2つのケースを想定した
- ・ ①全体循環系で排気される空気が外部の新鮮空気と混合して校正作業室内に供給される場合（模擬実験と同じ還流率56%）と②全体循環系で排気される空気が100%外部に排気され、外部の新鮮外気が供給される場合（還流率0%）の2ケースのシミュレーションを行い、比較検討した。
- ・ 校正作業室から前室への漏出は、両室間の出入口から漏れ出たとした。

模擬実験と同じ条件、すなわち、DCMとDCPの混合溶剤（容積混合比で53.6%：46.4%）を1時間当たり1.75リットル使用した際の有機溶剤（ここでは、代表してDCMの濃度分布を示した）の濃度分布を図5に示した。図5は、校正作業室内の校正印刷機などをわかりやすくするため、床方向（下方向）から見た図を採用しており、図2や図4とは逆になっている。有限要素解析を用いたシミュレーション結果で見ると、校正作業室内の濃度分布に違いのあることがわかる。校正印刷機1と校正印刷機2の近辺（S1とS2）で有機溶剤の濃度が高く、逆にS6で低くなっていた。なお、全体循環系で排気される空気は100%が外部に排気され、新鮮外気が供給される場合（還流率0%）を検討した結果を図6に示した。還流率0%の場合、56%に比べて高濃度のエリアは小さくなっているものの、有機溶剤の濃度が高いエリアが部分的に認められ、大量の有機溶剤を全体換気と不十分な排気環境下で使用することは、依然として高濃度ばく露をもたらしていることがわかる。なお、有機溶剤の使用量が1.75ℓ/hから3.5ℓ/hに増加した場合のDCMとDCP（あるいはDCP）濃度のシミュレーション結果を表5（還流率56%）と表6（還流率0%）に示したが、実測値に比べてS2がS1と同じくらい高濃度となっているが、条

件等の設定による影響とも考えられる。

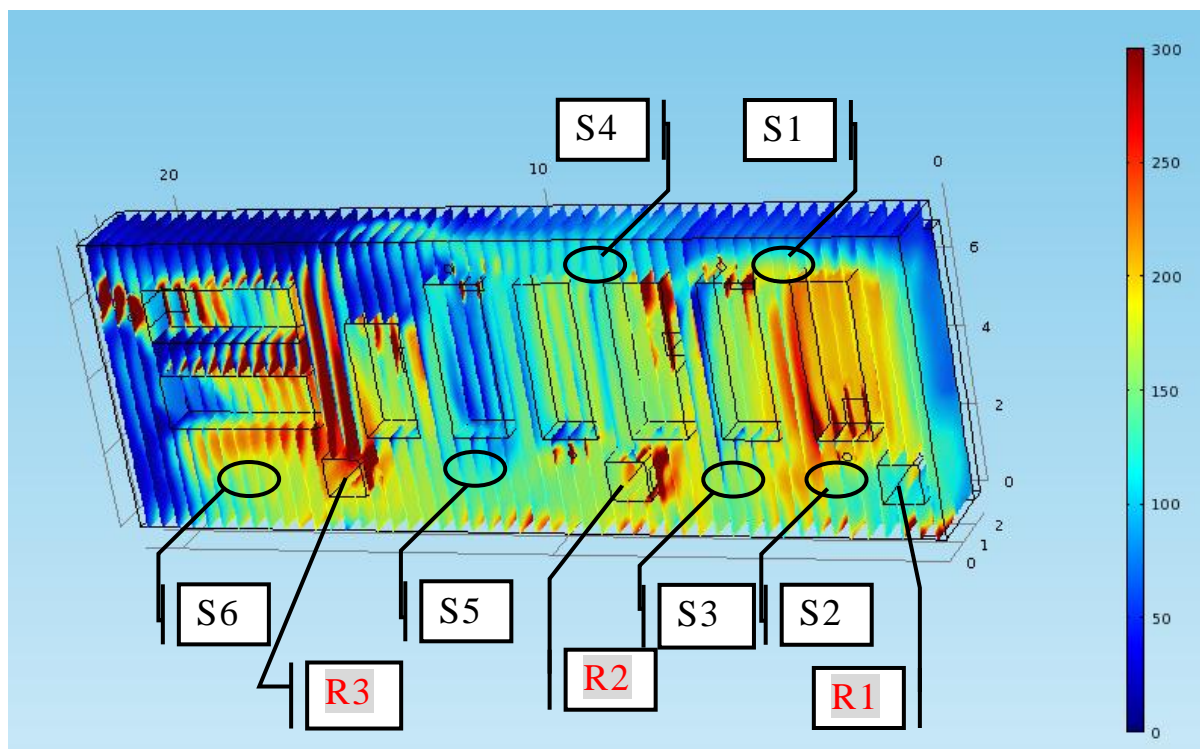


図 5. 定常状態の DCM の濃度分布 (還流率 56%)

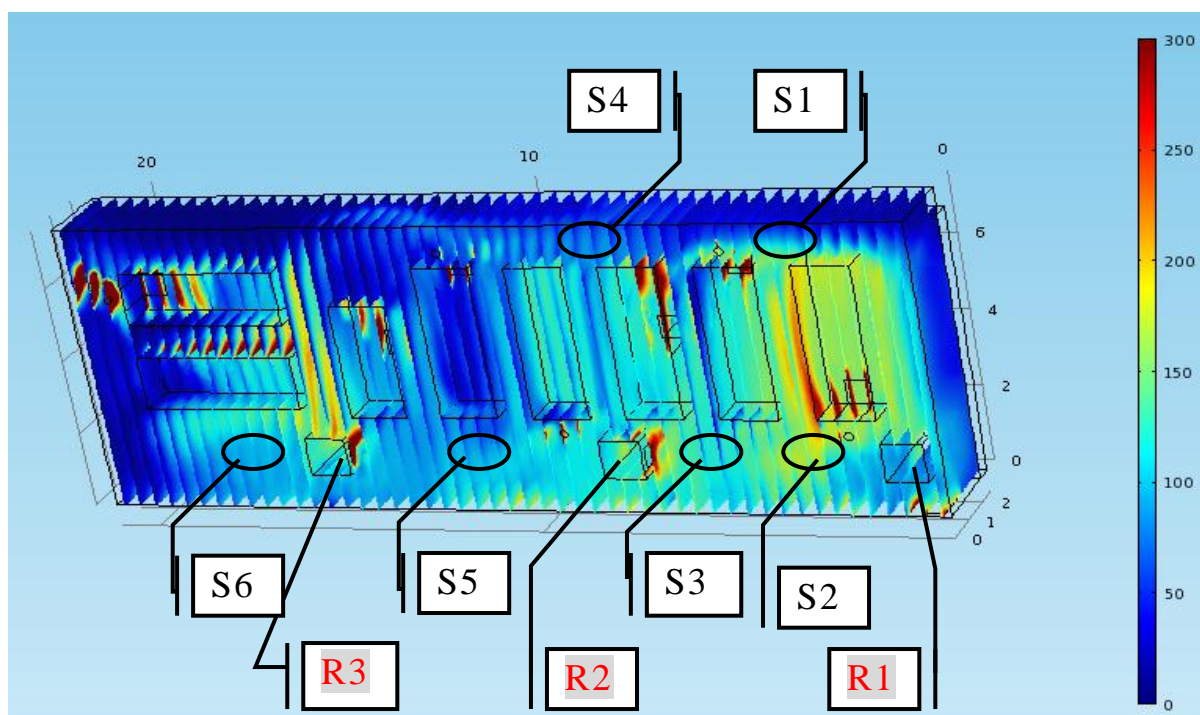


図 6. 定常状態の DCM の濃度分布 (還流率 0%)

表 5. DCM・DCP 混合溶剤、DCP 単剤の推定濃度（還流率 56%）

換気状態	使用量 (ℓ/h)	定点ID	DCM・DCP混合溶剤		DCP濃度* (ppm)
			DCM濃度	DCP濃度	
全体循環系で 排気される空気 が100%新鮮空 気と混合して校 正作業室内に 供給される(模 擬実験の場合 と同じ還流率 56%でシミュ レーションして いる)	1.75	S1	200	110	230
		S2	200	110	230
		S3	160	95	200
		S4	150	84	180
		S5	140	72	150
		S6	110	62	140
	3.5	S1	410	220	460
		S2	400	210	450
		S3	320	190	400
		S4	310	170	350
		S5	270	150	310
		S6	230	130	280

* : DCP 濃度は DCP 単剤で用いた際の推定濃度

表 6. DCM・DCP 混合溶剤、DCP 単剤の推定濃度（還流率 0%）

換気状態	使用量 (ℓ/h)	定点ID	DCM・DCP混合溶剤		DCP濃度* (ppm)
			DCM濃度	DCP濃度	
全体循環系で排 気される空気が 100%外部に排 気され、新鮮外 気が供給される (還流率0%)	1.75	S1	150	81	180
		S2	150	77	170
		S3	140	75	180
		S4	130	65	150
		S5	77	45	100
		S6	50	31	72
	3.5	S1	300	160	350
		S2	290	150	340
		S3	270	150	360
		S4	250	130	260
		S5	150	91	210
		S6	100	62	150

* : DCP 濃度は DCP 単剤で用いた際の推定濃度

5. 個人ばく露の推定

個人ばく露測定は、労働者が当該作業を行うことで有害化学物質にどの程度ばく露するかを評価する目的で実施され、そのばく露量は作業内容や作業方法の影響を強く受ける。個人ばく露測定は図 7 に示すように労働者の呼吸域 (A) で実施され、場の測定評価で実施される環境測定 (B) とは明らかに異なる。

今回の模擬作業では白色のタオルから有機溶剤が蒸発するため、手元のアルミ板付近が発生源となる。手元から作業者の呼吸域までの距離を図7と図8で比べれば分かるように、模擬作業の方が離れており、模擬作業では実際のブランケット拭き取り作業よりばく露のリスクを低く見積もっている可能性がある。なお、図7と図8の写真は安衛研内部で撮影したものであり、当該事業場での模擬作業ではない。



図7. 実施したブランケット拭き取りの模擬作業



図8. ブランケット拭き取り作業

次に、個人ばく露に影響を与える要因として、拭き取りの頻度について検討する必要がある。今回の模擬作業は3分間に1回の割合（実際の拭き取り時間は1分間）で実施した。6月30日の調査結果でも分かるように、現在、行われている実際のブランケット拭き取り作業では1時間に5回（12分に1回）であり、模擬実験に比べて、拭き取り作業の頻度は少ない。すなわち、模擬作業では実際のブランケット拭き取り作業よりばく露のリスクを高く見積もっている可能性がある。ただし、問題となっている有機溶剤を使用していた時期に、ブランケットの拭き取り頻度や方法が大きく異なっていた可能性もあり、慎重に検討すべきであるが、現状では作業内容に関する正確な情報は入手できていない。

今回の模擬実験では1.75ℓ/hの使用量であったが、使用量が増えれば個人ばく露量も必然的に増加する。模擬実験の測定結果から、個人ばく露濃度は環境濃度のおおよそ2倍程度であり、このことを踏まえれば表4で推定した環境濃度の2倍程度を個人ばく露量の平均値と推定することは可能かもしれない。しかしながら、個人ばく露とはあくまでも実際に作業する労働者の作業内容や作業方法によるところが大きいいため、このような個人ばく露の推定はあくまでも目安にとどめておくべきであろう。

6. まとめ

6. 1 空調システムおよび現在の校正印刷作業の評価について

当該事業場の校正印刷作業場には全体循環系、床下排気系（含む排気ダクト）、UV排気系の3系統の空調システムが備わっている。6月30日の計測で校正作業室内への流入量は $7,216 \text{ m}^3/\text{h}$ 、排気量は $3,280 \text{ m}^3/\text{h}$ と相当量になるが、全体循環系からの排気量 $3,946 \text{ m}^3/\text{h}$ は還流して、そのまま外気と混じり合い、校正作業室内に供給される。このように有害化学物質に汚染された空気の再流入は、作業者の高濃度ばく露につながる懸念される。

現在の作業環境等の評価（3系統の空調システム稼働下）では、環境測定および個人ばく露濃度はACGIHの8時間平均許容濃度を下回っていたが、作業場所や洗浄回数の増加によっては許容濃度を超える可能性も考えられる。さらに、今回測定したシクロヘキサン以外にも灯油や炭化水素系溶剤などが使用されているため、これらの複合的なばく露を考慮すれば、決して好ましい作業環境とはいえない。労働者の健康障害を防止するためには、局所排気装置の設置などの作業環境面での対策、さらに、防毒マスク・保護手袋の着用や容器の開放厳禁など、作業管理面での対策が実施されるべきである。

6. 2 労働者のばく露を推定するための模擬実験について

2 系統の空調システムのみを稼働させた模擬実験では、排気量は $3,344 \text{ m}^3/\text{h}$ と多かったが、還流率が 56% に達していた。このような環境下で有害化学物質を大量に使用した場合、汚染された空気が循環するため、高濃度ばく露につながることは容易に予想され、DCM 検知管による測定で全体循環系の吹出口から供給される空気が汚染されていることを確認した。

今回、模擬作業を行った安衛研職員の個人ばく露は DCM : 130~360 ppm、DCP : 60~210 ppm であった。これは ACGIH の 8 時間平均許容濃度のそれぞれ 2.6~7.2 倍、6~21 倍程度のばく露である。仮に、実際の洗浄作業で使用されていた有機溶剤の使用量が今回より多いとすれば、従事していた作業者のばく露量は、これよりさらに高かったと予想される。環境濃度については、DCM : 70~190 ppm、DCP : 30~80 ppm であり、個人ばく露濃度は環境濃度の 2 倍近い値であった。

A エリアと B エリアでの個人ばく露濃度 ($A > B$) と定点における環境濃度 ($S1 > S6$) の測定結果から、場所によって個人ばく露濃度と環境濃度に高低の不均等が認められた。すなわち、この作業場では、2 系統の空調システムの不適切な配置等が均一な拡散と排気を妨げ、局所的な室内空気の滞留を起しやすくしていると推測される。

参考文献

- 1) 厚生労働省労働基準局長通達、「労働安全衛生法第 28 条第 3 項の規定に基づき厚生労働大臣が定める化学物質による健康障害を防止するための指針」の周知について、平成 23 年 10 月 28 日付け基発 1028 第 4 号。
- 2) 日本産業衛生学会 (2011) 許容濃度等の勧告 (2011 年度), 産業衛生学雑誌 53, 177-203.
- 3) ACGIH(2012)2012 TLVs and BEIs, Cincinnati, ACGIH.
- 4) IDLH (U.S.NIOSH) : <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>
- 5) 原邦夫、熊谷信二、中明賢二 (2001) 蒸気・ガス状化学物質の職業性曝露濃度を推定する数理モデルの応用—曝露アセスメント・健康リスクマネジメントのために—, 労働科学 77(11), 439-461.