

# 大阪府の印刷工場における疾病 災害の災害調査報告書(概要)

独立行政法人

労働安全衛生総合研究所

# 厚生労働省からの照会内容

➤ 大阪府の印刷工場の従業員や元従業員に発症した胆管がんと当該事業所における校正印刷業務との因果関係を推定するため、以下の事項を照会する。

(1)作業場での環境測定

→作業場の空調システムの測定評価と現在使用されている化学物質に着目した環境測定

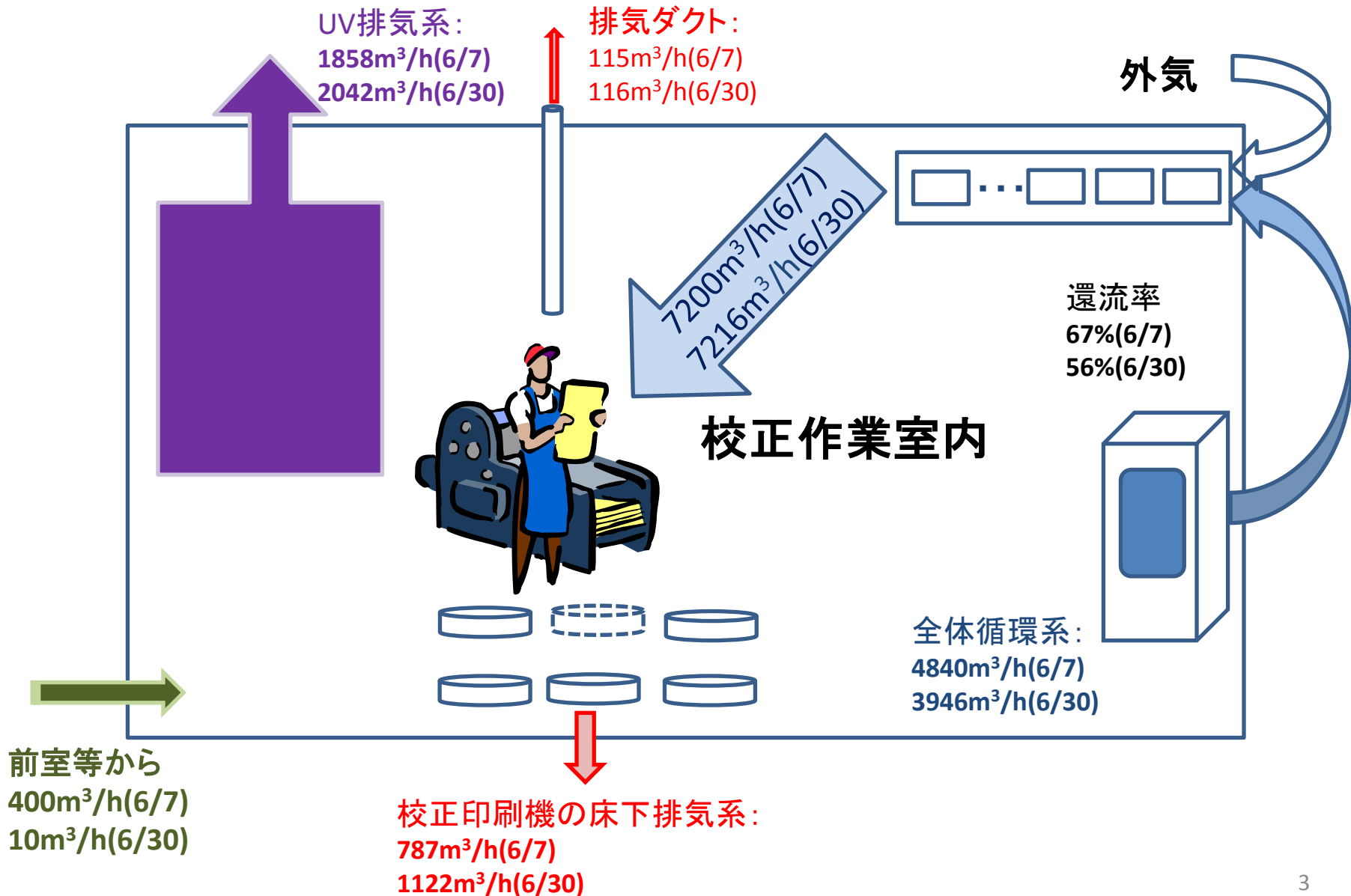
(2)有害物質の使用状況(ばく露状況も含む。)の調査

→過去の有害物質の使用状況調査と現在使用されている化学物質の個人ばく露測定

(3)その他原因究明に必要な事項

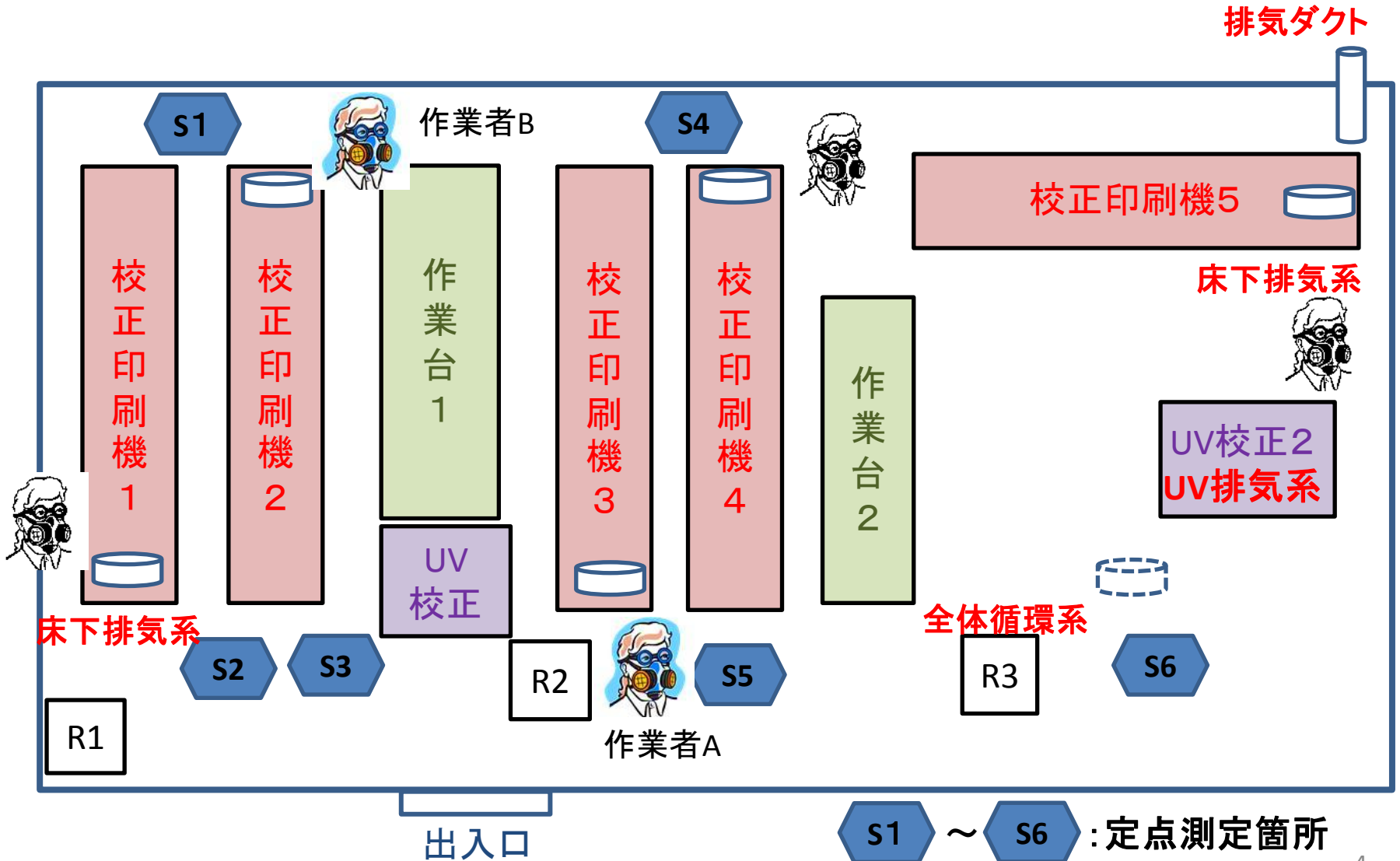
→当時の作業状況やばく露状況等を推定するための模擬実験

# 空調システムの測定・評価 (6/7・30/2012)



# 校正作業室のイメージ図

(6/30の個人ばく露・定点の環境測定のための配置図)



# シクロヘキサンの測定方法

- 個人ばく露及び環境濃度の測定で用いた固体捕集法の測定方法は以下のとおりである。
  - ✓ 捕集管:ガステック社 活性炭チューブ(球状活性炭)No.258
  - ✓ ポンプ:SKC社 Pocket Pump
  - ✓ 流量及び吸引時間: 50ml/min × 60分間
- 活性炭チューブで捕集したシクロヘキサンを定量分析する条件等は以下のとおりである。
  - ✓ 溶媒脱着:二硫化炭素(1ml)
  - ✓ 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
  - ✓ キャピラリーカラム;バリアン社 CP-PoraBOND Q(内径0.32mm×50m, 膜厚50µm)
  - ✓ 注入口:220°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
  - ✓ カラムオーブン温度:100°C(1min hold)→5°C/min→210°C→15°C/min→280°C(7min hold)
  - ✓ イオン源:250°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]
- 検知管法:ガステック社のポンプとヘキサン検知管(No.102L)

# シクロヘキサンのばく露濃度と環境濃度

## (ACGIH TLV-TWA:100ppm)

作業員5名中2名(作業員A・B)の個人ばく露濃度と作業内容

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

### 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

# ばく露推定のための模擬実験を実施する

- 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。
- 空調システムを含む当時の設備環境、当時用いていた有機溶剤の種類・使用量・使用状況などを正確に反映した再現実験を実施することは困難である。
- しかしながら、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の状況を推定する上で極めて重要な情報を提供してくれる。

# 模擬実験の概要

- 今回の模擬実験は1991年から2006年まで作業状況等を推定することを目的とし

当時使用されていたとされる有機溶剤<sup>①</sup>を用い

当時の空調システムに近い状態<sup>②</sup>で

ブランケットの拭き取りを模した模擬作業<sup>③</sup>を行い

作業場内の定点測定及び個人ばく露測定を実施し、有機溶剤使用状況等を推定・評価する。

- ① 模擬実験ではジクロロメタン (DCM) と1,2-ジクロロプロパン (DCP) (各々53.6%と46.4%) 混合して用い、1.75ℓ/hの割合で使用した。
- ② UV系の換気システムは使用しなかった。
- ③ あらかじめ用意したアルミ板を用いて、タオルに①で準備した有機溶剤を染みこませ、拭き取りの模擬作業を行った。模擬作業は校正作業室内の6か所で行われたが、A・Bの二つのエリアで2人の職員が3分に1回(1分間拭き取り)の割合で実施した。



# 模擬実験で測定・評価した項目

- 模擬作業を実施した安衛研職員の呼吸域におけるジクロロメタンと1,2-ジクロロプロパンのばく露量を、活性炭を用いた固体捕集GC/MS法で測定した(→従業員の**個人ばく露**を推定する).
- 校正作業室内で6つの定点(S1～S6)を選び、これらの定点のジクロロメタンと1,2-ジクロロプロパンの気中濃度を活性炭を用いた固体捕集GC/MS法で測定した(→定点での**環境濃度**を推定する, 併行して同じ定点S1～S6で検知管法によって気中濃度の推移を検討した).

# 模擬実験における換気状況 7/1/2012

UV排気系: 作動させず 排気ダクト: 117m<sup>3</sup>/h

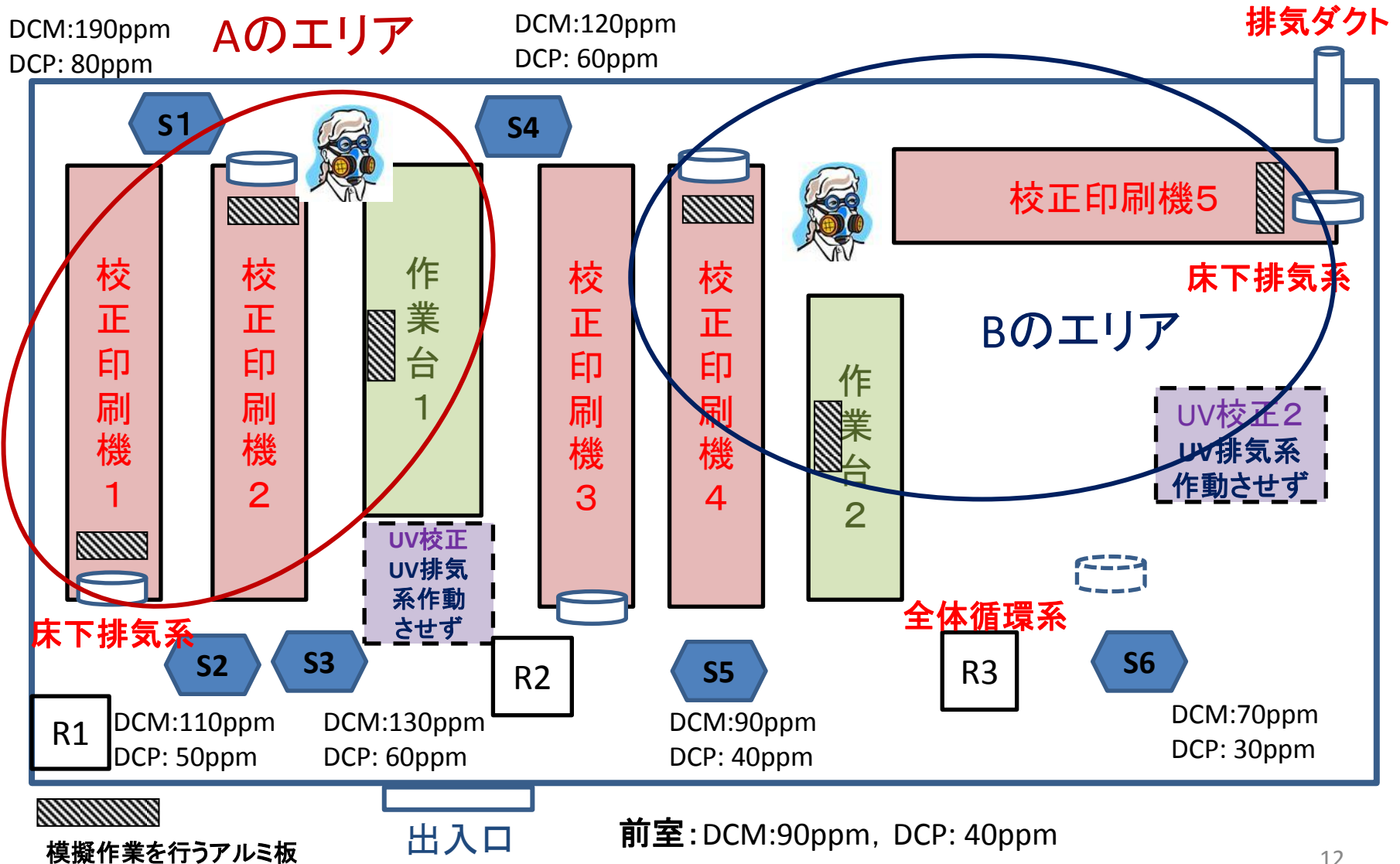


# ジクロロメタン/1,2-ジクロロプロパンの測定方法

- 個人ばく露及び環境濃度の測定で用いた固体捕集法の測定方法は以下のとおりである.
  - ✓ 捕集管:ガステック社 活性炭チューブ(球状活性炭)No.258
  - ✓ ポンプ:SKC社 Pocket Pump
  - ✓ 流量及び吸引時間:50ml/min × 30分間
- 活性炭チューブで捕集したジクロロメタンと1,2-ジクロロプロパンを定量分析する条件等は以下のとおりである.
  - ✓ 溶媒脱着:オルト-キシレン(1ml)
  - ✓ 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
  - ✓ キャピラリーカラム:バリアン社 CP-PoraBOND Q(内径0.32mm × 50m, 膜厚50µm)
  - ✓ 注入口:220°C, 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
  - ✓ カラムオーブン温度:100°C (1min hold) → 5°C/min → 210°C → 15°C/min → 280°C (7min hold)
  - ✓ イオン源:250°C
  - ✓ 検出・定量方法:選択イオン検出法(SIM), ジクロロメタン保持時間11.5分 [m/z=49, 51, 84, 86], 1,2-ジクロロプロパン保持時間23.3分 [m/z=62, 63, 76]
- 検知管法:ガステック社のポンプとジクロロメタン検知管(No.138)

# 校正作業室内のDCM・DCPの環境濃度（実測値）

## 模擬作業開始から1.5時間後



# 溶剤の使用量と環境濃度の平均値の推定

発生モデル: 物質収支モデル, 分散モデル: 完全混合モデル

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ジクロロメタン53.6%と1,2-ジクロロプロパン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(7656m<sup>3</sup>/h)から還流量(4312m<sup>3</sup>/h)の差分3344m<sup>3</sup>/hが換気速度である, 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.

# 有限要素解析(FEM)による環境濃度の推定

- 流体解析

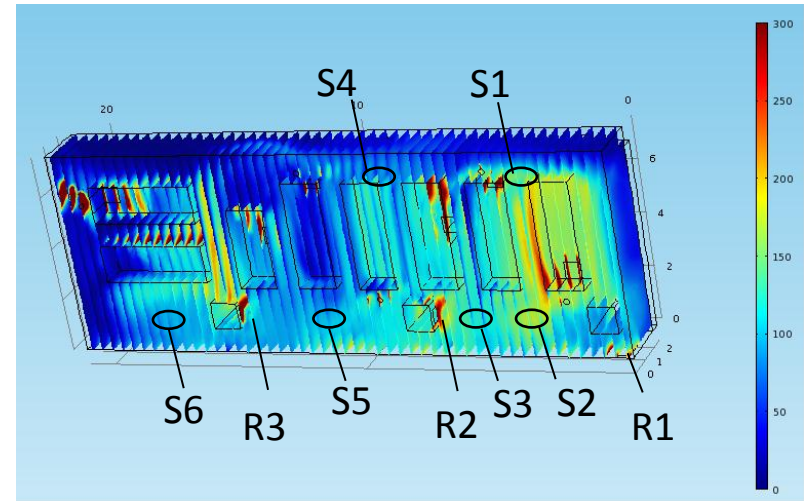
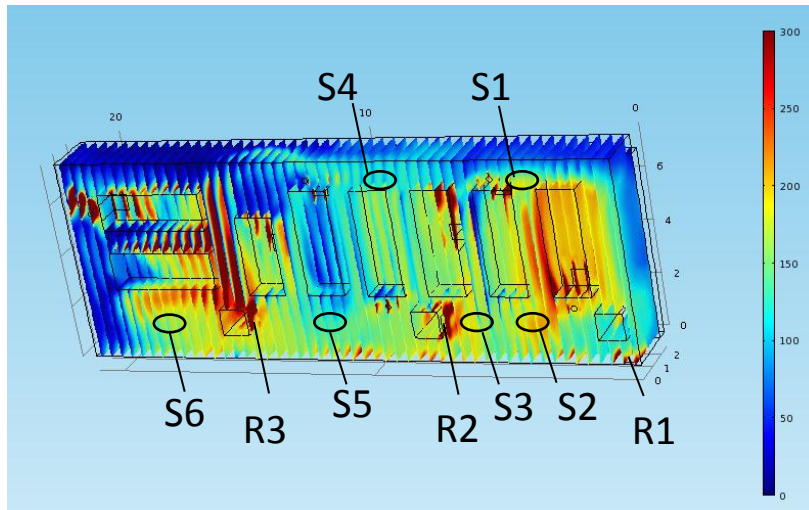
- 印刷室内の気流(定常状態)の計算
- k- $\epsilon$ 乱流モデル
- 境界条件:各空調システムの給気口,排気口での流速
- 印刷室と前室の間の出入口から前室へ漏出

- 物質移流シミュレーション

- ジクロロメタン&1,2-ジクロロプロパンの混合溶剤と1,2-ジクロロプロパンの単剤使用
- 上記定常状態下での有機溶剤の濃度分布を計算
- 両溶剤は連続使用を仮定
- 使用した溶剤はすべて気化したものと仮定
- 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(模擬実験と同じ還流率56%)場合と、②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。

# 定常状態のジクロロメタンの濃度分布 — 床方向から見た場合 —

(混合溶剤1.75ℓ/h使用時)



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%)をシミュレーションした。

②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場合(還流率0%)をシミュレーションした。

# DCM・DCP混合溶剤、DCP単剤の推定濃度（還流率56%）

※定点S1～S6はいずれも床面から1.5mの高さ

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



# DCM・DCP混合溶剤、DCP単剤の推定濃度（還流率0%）

※定点S1～S6はいずれも床面から1.5mの高さ

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

# 個人ばく露測定で評価する

B: 個人ばく露測定  
作業者の呼吸域で  
測定する

A: 環境測定  
定点で測定する



注) 写真は安衛研内部で撮影した模擬作業の風景であり、当該事業場で行ったものではない。

- 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。
- 個人ばく露は左の写真のBに示すように、作業者の呼吸域に捕集管等を装着して測定する。
- 今回の作業(校正印刷機のブランケットの拭き取りを模した模擬作業)では、白色のタオルから有機溶剤が蒸発するため、手元のアルミ板が発生源となる。

# 今回の模擬作業と実際の作業でのばく露の差異



① 模擬作業と実際の拭き取り作業を比べると、

- ・作業点から呼吸域までの距離が遠い

→ 実際のばく露に比べて個人ばく露を低く見積もる可能性がある。

② 模擬作業と実際の拭き取り作業を比べると、

- ・模擬作業での拭き取りの頻度(3分間で1分間)は実際の作業に比べて頻繁である。

→ 実際のばく曝に比べて、個人ばく露を高く見積もった可能性がある。



注) 写真は安衛研内部で撮影した模擬作業の風景であり、当該事業場で行ったものではない。

# 模擬作業を行った 安衛研職員の個人ばく露濃度の測定結果

	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とは米国産業衛生専門会会議である。

\*\* :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。U.S.NIOSHとは米国の国立労働安全衛生研究所である。

# まとめ

## 空調システムの評価について

- 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 m<sup>3</sup>/h、排気量は3,280 m<sup>3</sup>/hと相当量になるが、全体循環系からの排気量3,946 m<sup>3</sup>/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。校正作業室内で有害化学物質を使用した場合、この空調システム下では汚染された空気の再流入が起こり、作業者の高濃度ばく露につながる懸念される。

# まとめ

## 現在の校正印刷作業の評価について

- 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。

# まとめ

## 労働者のばく露を推定するための模擬実験について①

- 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給気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。

# まとめ

## 労働者のばく露を推定するための模擬実験について②

- 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倍程度のばく露にあたる。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。



# まとめ

## 労働者のばく露を推定するための模擬実験について③

- 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こしやすくしていると推測される。