

職業病予防における 個人曝露評価の重要性

熊谷信二

化学物質曝露による職業病

古くて新しい課題 !!

2012年 オフセット印刷における胆管がん

2014年 塗料剥離作業における鉛中毒

2015年 染料中間体製造における膀胱がん

2017年 有機粉じん曝露による肺疾患

架橋型アクリル酸系水溶性高分子化合物
医薬品や化粧品の製造

肺組織の繊維化、間質性肺炎、肺気腫、気胸

講演の内容

個人曝露測定・評価の重要性

個人曝露濃度の変動

個人曝露濃度の評価法

法律に基づく定期測定のあるべき姿

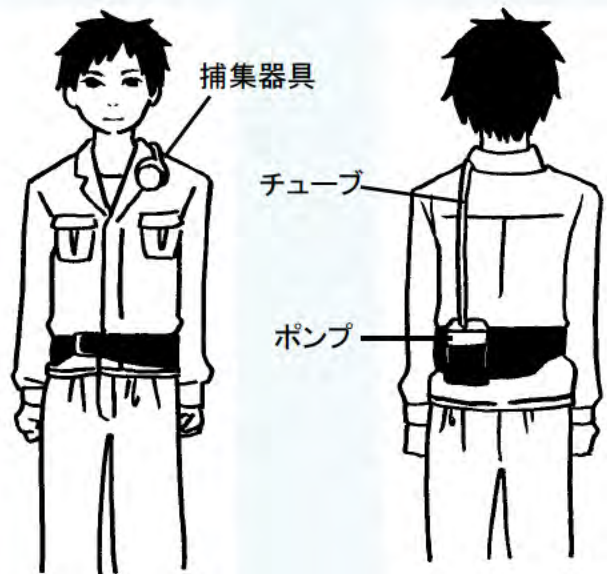
個人曝露測定・評価 の重要性

個人曝露測定と評価

呼吸域の気中有害物質濃度を測定する

アクティブサンプラー

電動式ポンプで呼吸域の空気を吸引して有害物質を捕集する



粉じん捕集用
フィルター



有機溶剤捕集用
活性炭管



柴田科学カタログから



個人曝露測定

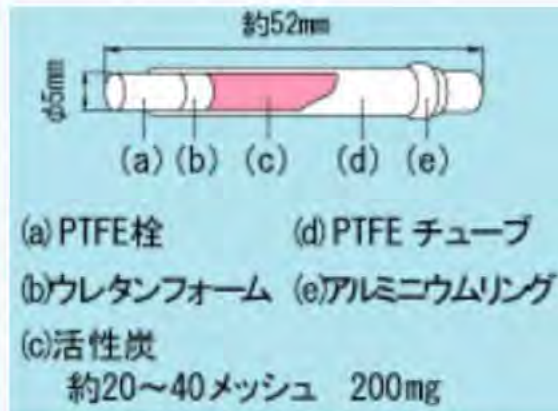
呼吸域の気中有害物質濃度を測定する

パッシブサンプラー

物質分子の拡散現象を利用し
呼吸域の有害物質を捕集する

有機溶剤捕集用

パッシブガスチューブ



柴田科学カタログから



パッシブガスチューブ

個人曝露濃度の基準値

職業曝露限界 Occupational Exposure Limit (OEL)

日本産業衛生学会

許容濃度	スチレン	20 ppm
最大許容濃度	塩化水素	2 ppm

米国産業衛生専門官会議 ACGIH

TLV-TWA	8時間平均濃度の基準値	スチレン	20 ppm
TLV-STEL	15分間平均濃度の基準値	スチレン	40 ppm
TLV-C	天井値	塩化水素	2 ppm

日本産業衛生学会の許容濃度

許容濃度

1日8時間 週40時間程度の曝露
肉体的に激しくない労働強度

通常の労働

平均曝露濃度がこの数値以下であれば
ほとんどすべての労働者に
健康上の悪影響が見られないと判断される濃度

呼吸保護具を装着していない状態で労働者が
吸入するであろう空气中濃度

保護具を装着しないでも健康に働ける作業環境をめざす

個人曝露測定

8時間曝露測定 1作業日の平均曝露濃度が判明

短時間曝露測定 高い曝露を受ける時の曝露濃度が判明

許容濃度と比較することにより、
現状で問題があるか否かを判断するのに最適

欧米ではこの方式が用いられている

作業環境測定と評価

労働安全衛生法

(作業環境測定)

第65条 事業者は、有害な業務を行う屋内作業場その他の作業場で、政令で定めるものについて、厚生労働省令で定めるところにより、必要な**作業環境測定**を行い、及びその**結果**を記録しておかなければならない

2 前項の規定による作業環境測定は、厚生労働大臣の定める**作業環境測定基準**に従って行わなければならない

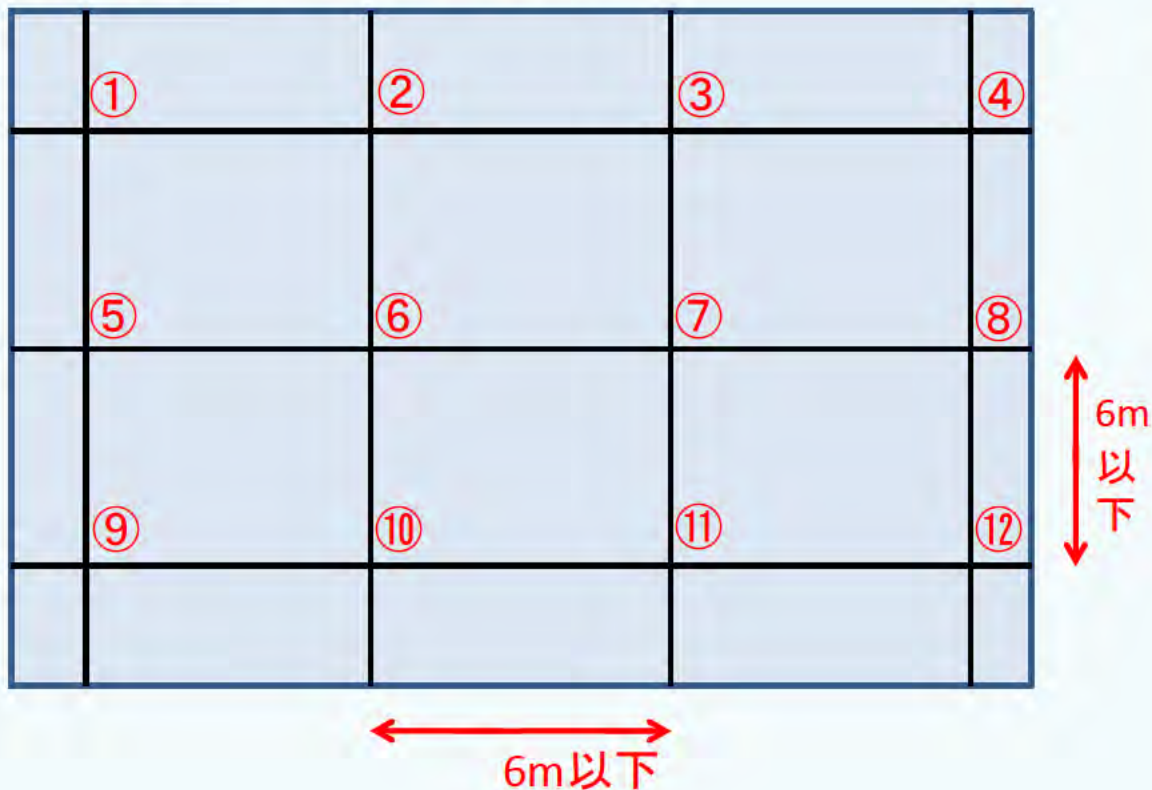
A測定, B測定

A測定

平均的な作業環境の状態を把握する（濃度分布を把握する）

等間隔に引いた平行線の交点を測定点とする

高さは床上50－150cm



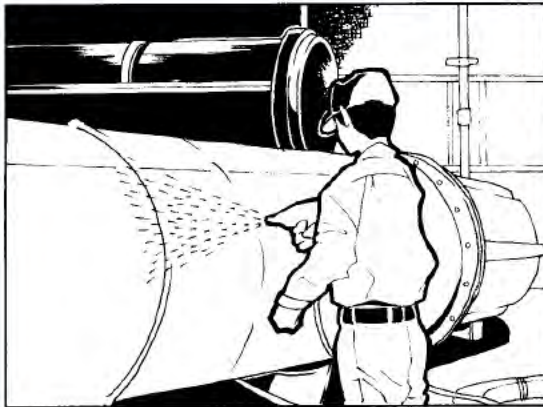
B測定

A測定のみでは、労働者の高濃度曝露を見逃す恐れがある場合に測定

ただし、労働者の曝露濃度の測定ではない

移動

移動作業(例: 吹付塗装)



間欠

間欠作業(例: 原料投入)



近接

近接作業(例: グラインダ)

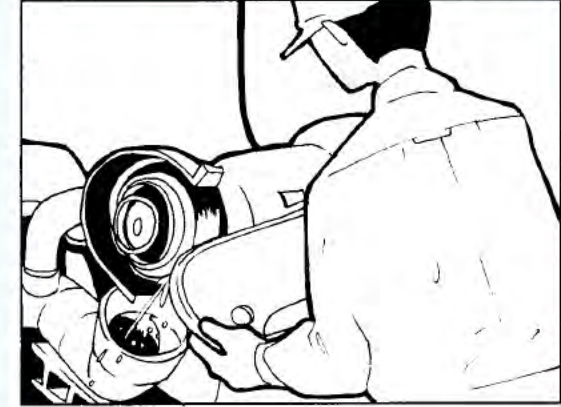


図4.5 B測定を実施する必要がある3種類の作業

A測定により、労働者の高濃度曝露を見逃す恐れがなければ
B測定は必ずしも必要ではない

A測定の補完のための測定である

B測定

気中濃度が最大になると考えられる作業位置および時間をB測定点とする

移動作業の場合は、作業位置の移動に沿って測定

高さは床上50－150cm 作業の実態に応じて

	①	②	③	④
	Ⓑ			
	⑤	⑥	⑦	⑧
	⑨	⑩	⑪	⑫

作業環境評価と事後措置

労働安全衛生法

(作業環境測定の結果の評価等)

第65条の2 事業者は、前条第1項又は第5項の規定による作業環境測定の結果の評価に基づいて、労働者の健康を保持するため必要があると認められるときは、厚生労働省令で定めるところにより、施設又は設備の設置又は整備、健康診断の実施その他の適切な措置を講じなければならない

- 2 事業者は、前項の評価を行うに当たっては、厚生労働省令で定めるところにより、厚生労働大臣の定める作業環境評価基準に従って行わなければならない
- 3 事業者は、前項の規定による作業環境測定の結果の評価を行ったときは、厚生労働省令で定めるところにより、その結果を記録しておかなければならない

評価値の算出

M : 幾何平均
 σ : 幾何標準偏差

第1評価値 (E_{A1}) 濃度分布の95%値

$$\log_{10} E_{A1} = \log_{10} M + 1.645 \log_{10} \sigma$$

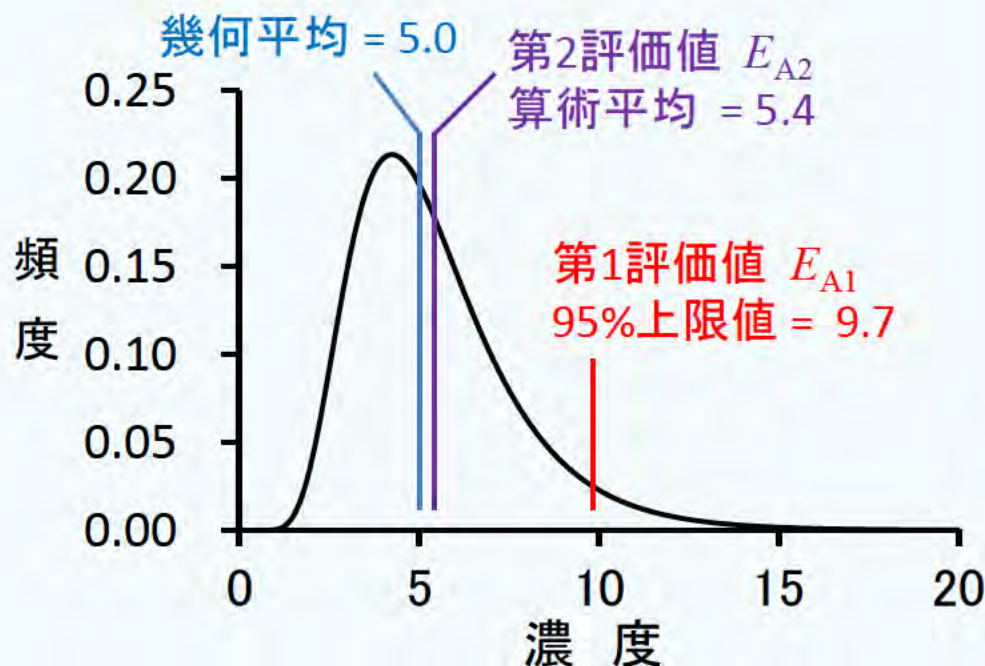
第2評価値 (E_{A2}) 濃度分布の算術平均

$$\log_{10} E_{A2} = \log_{10} M + 1.151 (\log_{10} \sigma)^2$$

対数正規分布

幾何平均 = 5.0

幾何標準偏差 = 1.5



評価

A測定のみの場合

A 測定 の 評価

第1評価値 < 管理濃度
95%上限値

第2評価値 ≤ 管理濃度 ≤ 第1評価値

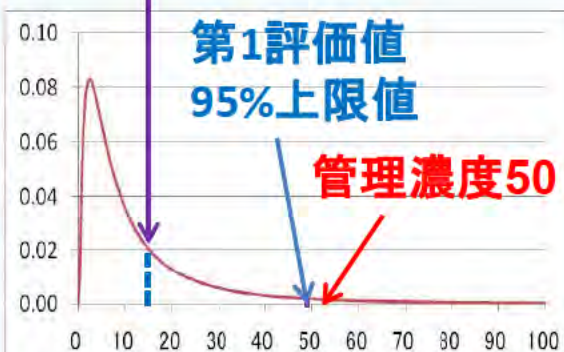
管理濃度 < 第2評価値
算術平均

第1管理区分

算術平均 95%上限値
第2管理区分

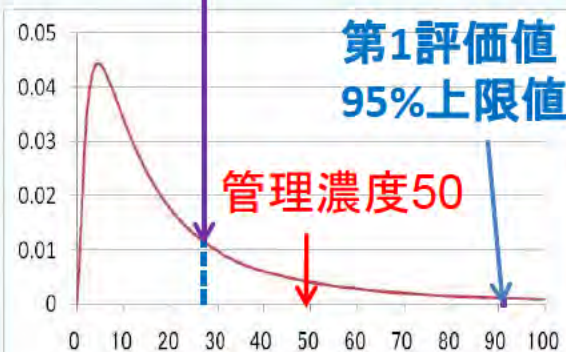
第3管理区分

第2評価値
算術平均



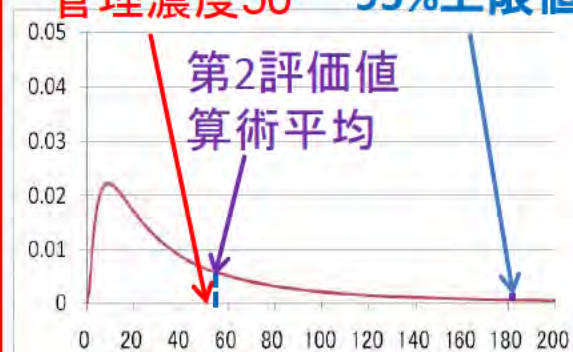
第1管理区分
よく管理されている

第2評価値
算術平均



第2管理区分
改善努力

第1評価値
95%上限値
管理濃度50



第3管理区分
直ちに改善を要する

評価

A測定およびB測定を実施した場合

		A 測 定		
		第1評価値 < 管理濃度	第2評価値 ≤ 管理濃度 ≤ 第1評価値	管理濃度 < 第2評価値
B 測 定	B測定値 < 管理濃度	第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	管理濃度 ≤ B測定値 ≤ 管理濃度 × 1.5	第2管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	管理濃度 × 1.5 < B測定値	第3管理区分	第3管理区分	第3管理区分

事後措置

第1管理区分

よく管理されている

第2管理区分

「よく管理されている」とは言い難く、「直ちに改善を要する」とも判断できない

第3管理区分

直ちに改善を要する

個人曝露測定と作業環境測定

個人曝露測定

8時間曝露測定 1作業日の平均曝露濃度が判明

短時間曝露測定 高い曝露を受ける時の曝露濃度が判明

許容濃度と比較することにより、
現状で問題があるか否かを判断するのに最適

作業環境測定 日本の法律ではこちらが義務付けられている

A測定 作業場における有害物質の拡散状況
濃度が高い場所が判明する

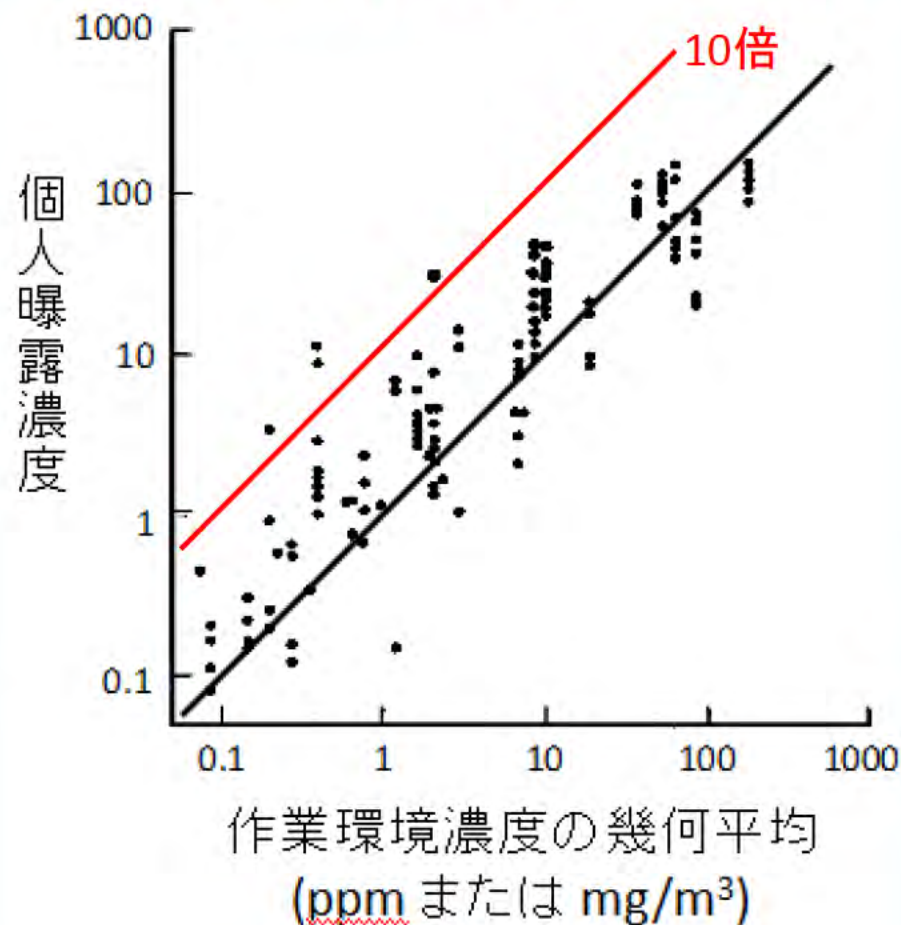
B測定 作業者の曝露が高い作業位置と時間帯が判明する

作業環境測定は、作業者の健康リスクを正しく評価できるか

A測定値と個人曝露濃度

作業環境濃度の幾何平均と作業者の個人曝露濃度の関係

個人曝露濃度の方が高い傾向



日本作業環境測定協会.
作業場における気中有害物質
の規制のあり方についての検討
結果, 第1次報告書. 1980.

B測定値(10分間)と個人曝露濃度(8時間)

個人曝露濃度がB測定値よりも高いのは256ケース中79ケース(30.9%)である

本来はB測定値は個人曝露濃度(8時間)よりも高いはず

矛盾の原因

B測定時に測定者が作業者に近づけない

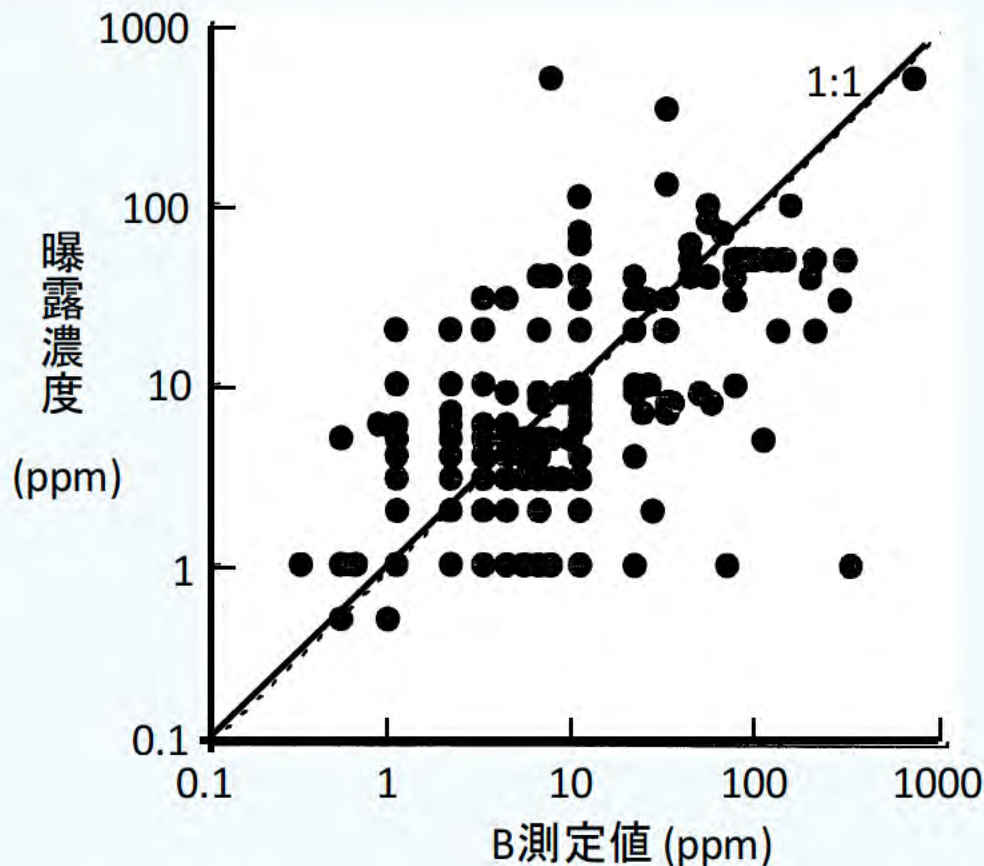


図6.3 B測定値と曝露濃度の関係
(文献6-3より)

作業環境測定の問題点

作業環境評価により第1管理区分と判定されても
そこで働く作業者の中には、
個人曝露濃度が許容濃度を超えるケースがある

表. 個人曝露濃度が管理濃度を超える作業者の割合

	第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分
有害物質*1	3.5 %	26.6 %	65.9 %
有機溶剤*2	4.0 %	12.8 %	36.5 %
鉛*3	11.0 %	21.4 %	30.0 %

*1 輿重治. 作業環境 1984;5(5):56-60.

*2 鵜飼博彦. 労働衛生工学 1991;30:20-26.

*3 滝沢顕彦ら. 作業環境 1988;9(2):58-66.

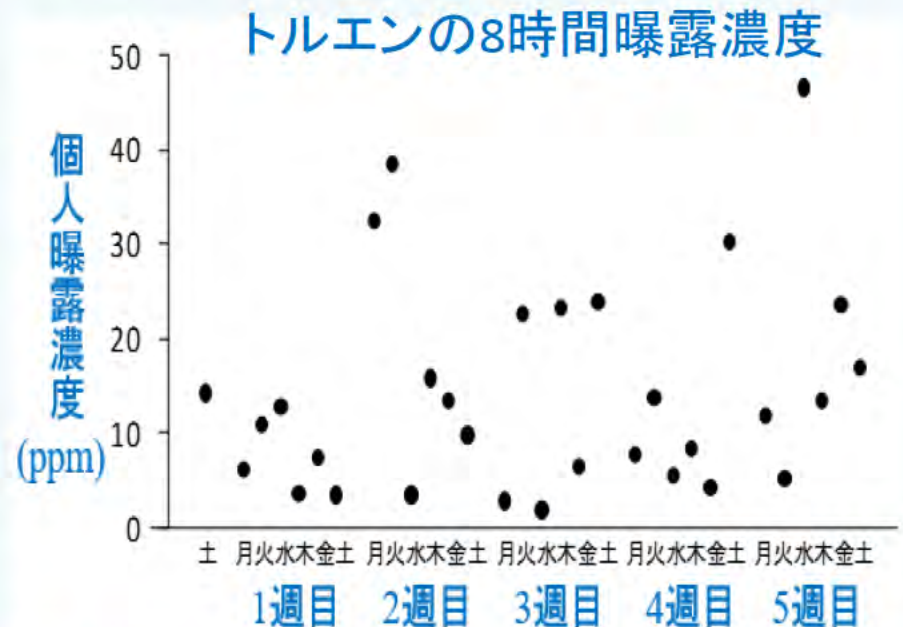
個人曝露測定とその評価が重要

個人曝露濃度の変動

8時間曝露濃度の日間変動

トルエンによる汚れの拭き取り（塗装の前処理）

8時間曝露濃度を約1ヵ月間連続測定

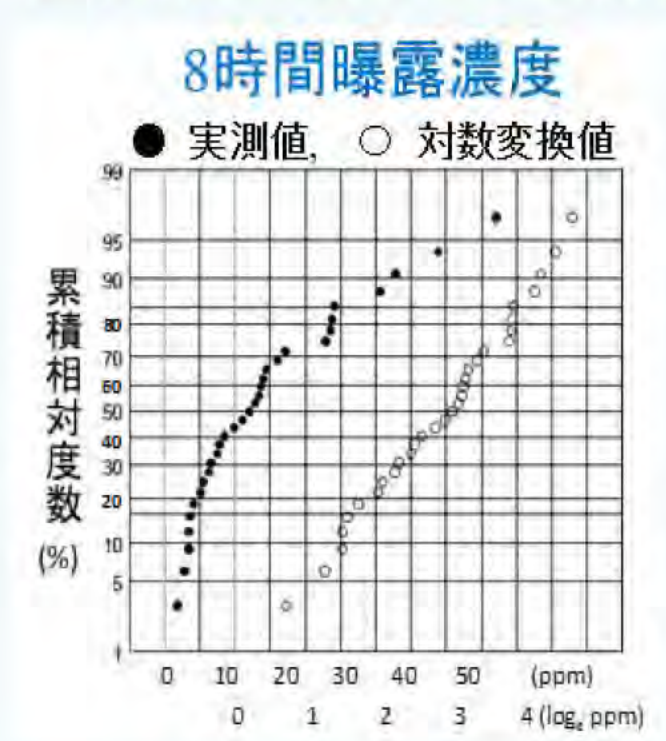


同じ作業者が同じ作業をしているように見えても、
曝露濃度は日々変動している

変動に関して何か言えることはないか??

分布を調べてみよう

正規確率紙にプロットした



日間分布は正規型よりも対数正規型に近い

有害物質の8時間曝露濃度の日間分布

10ケースの正規性の検定 (Shapiro-Wilk 検定)

表3.3 Shapiro-Wilk検定による有機溶剤およびコバルト曝露濃度の日間分布の検討

作業者	作業内容	物質名	測定日	検定統計量 W		棄却限界 (危険率1%)
				正規	対数正規	
a	払拭	トルエン	31	0.873*	0.977	0.902
b	払拭	トルエン	30	0.717*	0.963	0.900
c	塗装	トルエン	29	0.817*	0.939	0.898
d	塗装	キシレン	29	0.899	0.966	0.898
e	溶剤乾燥	アセトン	25	0.987	0.983	0.888
f	溶剤乾燥	n-ヘキサン	25	0.873*	0.946	0.888
g	溶剤乾燥	アセトン	24	0.964	0.973	0.884
h	溶剤乾燥	n-ヘキサン	24	0.971	0.973	0.884
i	合金研磨	コバルト	37	0.753*	0.949	0.914
j	合金研磨	コバルト	35	0.762*	0.986	0.910

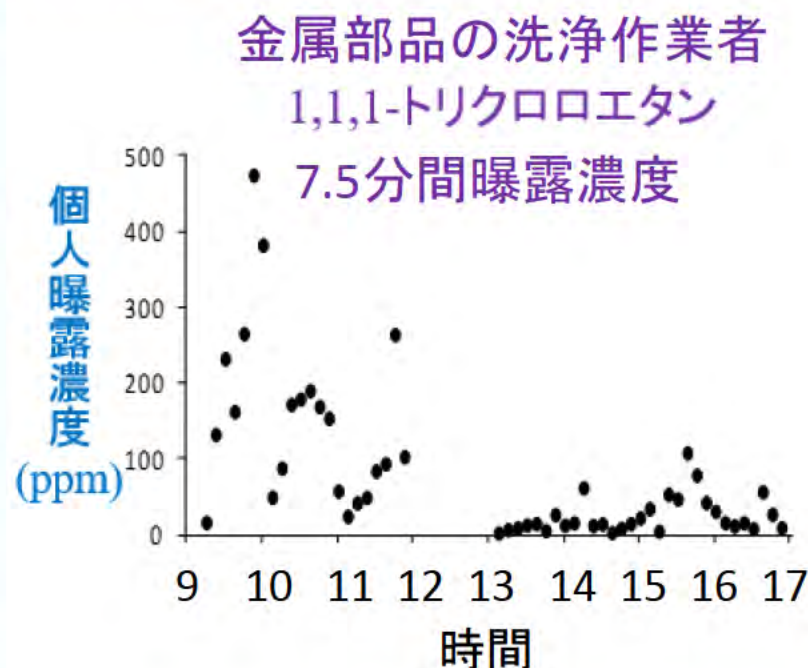
* : 正規分布仮説が危険率 1%で棄却された (コバルトは文献3-6より)

日間分布は対数正規分布で扱える

短時間曝露濃度の日内変動

1,1,1-トリクロロエタンによる金属部品の脱脂洗浄
7.5分間曝露濃度を全勤務時間にわたり連続測定

回転式サンプラーによる連続測定



同じ作業でも、曝露濃度は大きく変動している

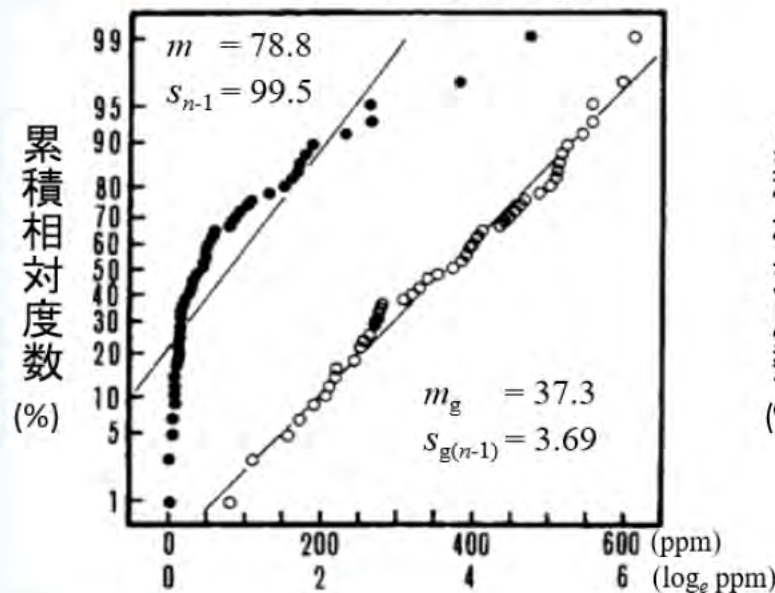
変動に関して何か言えることはないか??

分布を調べてみよう

正規確率紙にプロットした

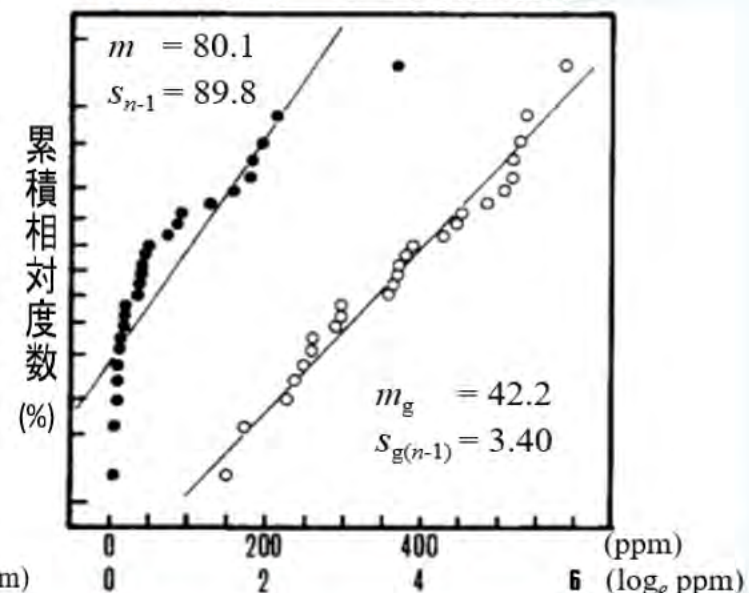
7.5分間曝露濃度

● 実測値, ○ 対数変換値



15分間曝露濃度

● 実測値, ○ 対数変換値



日内分布は正規型よりも対数正規型に近い

有害物質の短時間曝露濃度の日内分布 16ケースの正規性の検定 (Shapiro-Wilk 検定)

表3.2 Shapiro-Wilk検定による有機溶剤曝露濃度の日内分布の検討

作業者	作業内容	物質名	7.5分間平均濃度			15分間平均濃度			30分間平均濃度			60分間平均濃度		
			検定統計量 W		棄却限界 (危険率1%)	検定統計量 W		棄却限界 (危険率1%)	検定統計量 W		棄却限界 (危険率1%)	検定統計量 W		棄却限界 (危険率1%)
			正規	対数正規		正規	対数正規		正規	対数正規		正規	対数正規	
A	洗浄	1,1,1-トリクロロエタン	0.731*	0.985	0.938	0.788*	0.961	0.891	0.816	0.944	0.805	0.876	0.929	0.713
B	洗浄	1,1,1-トリクロロエタン	0.700*	0.935*	0.948	0.840*	0.945	0.904	0.879	0.950	0.844	0.892	0.938	0.749
C	塗装	トルエン	0.553*	0.951	0.917	0.705*	0.975	0.868	0.869	0.973	0.781	0.770	0.918	0.686
D	塗装	キシレン	0.622*	0.913*	0.917	0.736*	0.891	0.868	0.782	0.939	0.781	0.793	0.844	0.686
E	塗装	トルエン	0.782*	0.944	0.929	0.831*	0.945	0.888	0.835	0.919	0.805	0.821	0.868	0.713
F	塗装	キシレン	0.790*	0.923*	0.929	0.830*	0.885*	0.888	0.811	0.976	0.805	0.941	0.925	0.713
G	化学合成	クロロベンゼン	0.565*	0.960	0.948	0.655*	0.961	0.904	0.692*	0.947	0.844	0.710*	0.970	0.749
H	化学合成	クロロベンゼン	0.553*	0.957	0.945	0.624*	0.958	0.902	0.747*	0.961	0.844	0.917	0.946	0.749
I	FRP製造	スチレン	0.942*	0.947	0.945	0.952	0.924	0.898	0.879	0.939	0.825	0.898	0.884	0.730
J	FRP製造	アセトン	0.608*	0.981	0.945	0.670*	0.955	0.898	0.818*	0.961	0.825	0.949	0.898	0.730
K	FRP製造	スチレン	0.862*	0.947	0.940	0.868*	0.948	0.896	0.888	0.940	0.825	0.856	0.915	0.730
L	FRP製造	アセトン	0.613*	0.921*	0.940	0.720*	0.887*	0.896	0.828	0.895	0.825	0.947	0.889	0.730
M	溶剤乾燥	アセトン	0.765*	0.957	0.945	0.849*	0.920	0.896	0.946	0.911	0.814	0.920	0.867	0.730
N	溶剤乾燥	n-ヘキサン	0.543*	0.988	0.945	0.568*	0.984	0.896	0.653*	0.944	0.814	0.664*	0.862	0.730
O	混合	アセトン	0.598*	0.952	0.946	0.644*	0.953	0.900	0.770*	0.949	0.835	0.826	0.922	0.730
P	混合	n-ヘキサン	0.760*	0.980	0.946	0.774*	0.971	0.900	0.871	0.909	0.835	0.911	0.903	0.730

*: 正規分布仮説あるいは対数正規分布仮説が危険率1%で棄却された (文献3-4より)

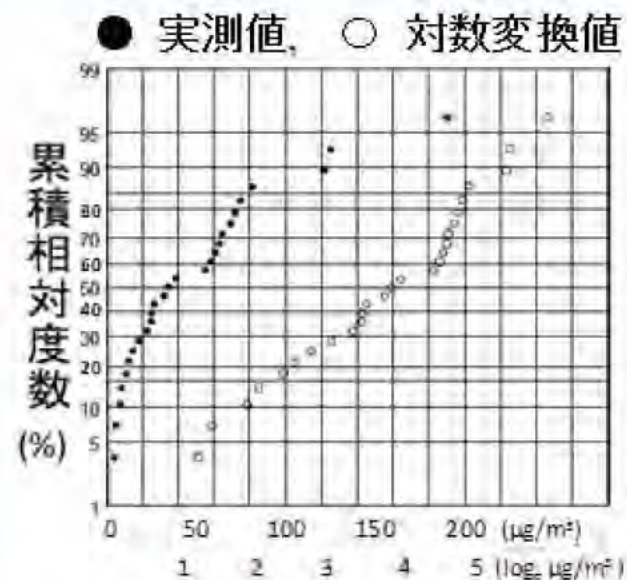
日内分布は対数正規分布で扱える

作業者グループ内の変動

作業者間分布 同じ作業をしている作業者グループ
焼結合金の研磨 コバルト

各作業者ごとに8時間曝露濃度を3日間測定

各作業者の3日間の平均値を算出して、その分布を検討



作業者間分布は正規型よりも対数正規型に近い

曝露濃度の分布は

日間分布

1人の作業者の8時間曝露濃度の日間分布は正規分布よりも対数正規分布に近い

日内分布

1人の作業者の短時間曝露濃度の日内分布は正規分布よりも対数正規分布に近い

作業者間分布

同じ作業を行っている作業者グループの8時間曝露濃度の作業者間分布は正規分布よりも対数正規分布に近い

曝露濃度の分布は対数正規型である

対数正規分布

分布を規定するパラメータ

幾何平均

幾何標準偏差 変動の大きさ

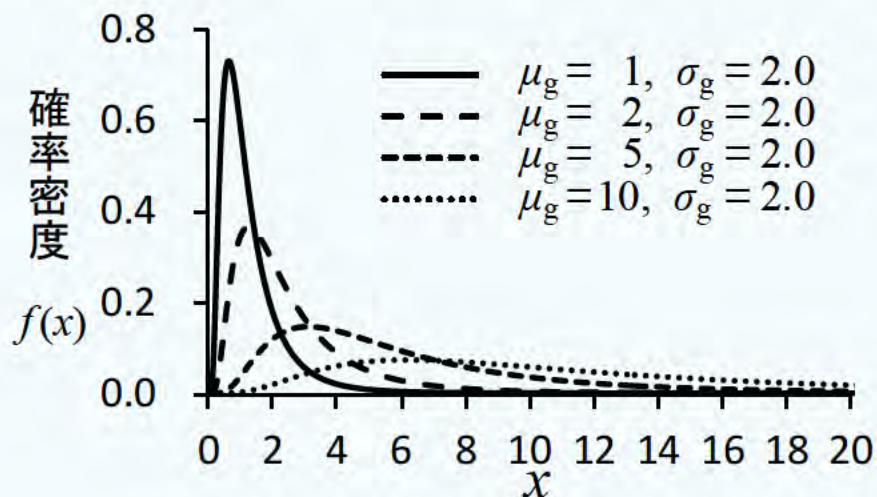
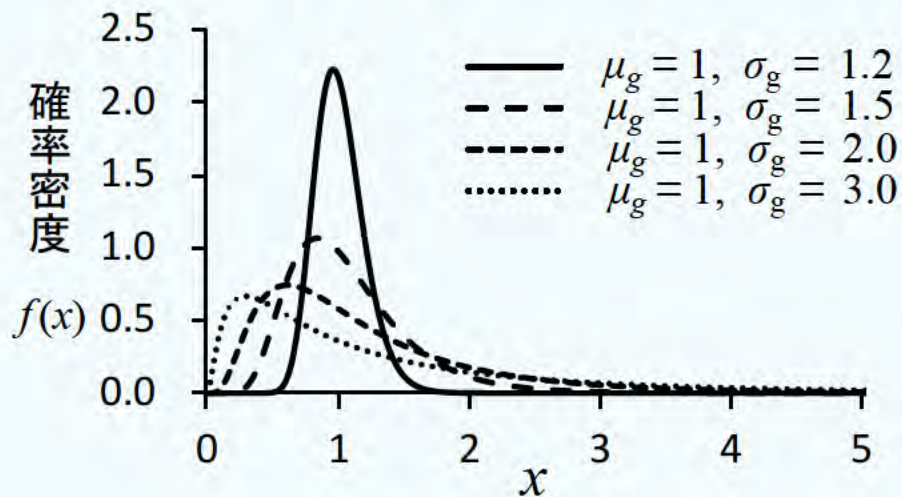
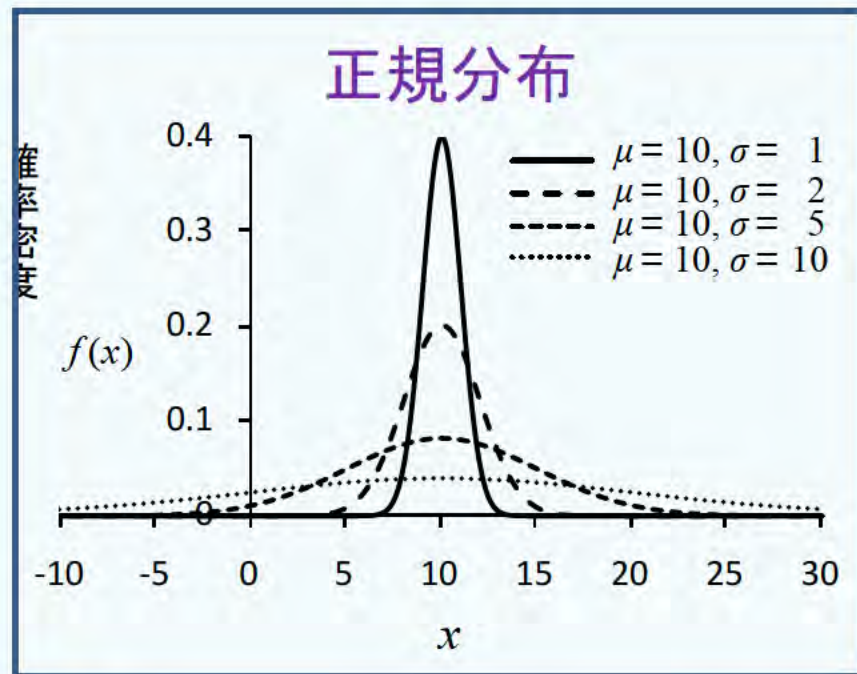


図2.23 様々な対数正規分布

変動の大きさはどの程度か

日間変動の大きさ(日々の変動)

有機溶剤126人, 粒子状物質128人

8時間曝露濃度 連続2日間測定
隔日2日間測定

各人ごとに幾何標準偏差を算出



8時間曝露濃度の幾何標準偏差

中央値 1.7 (日間変動が一般的なケース)

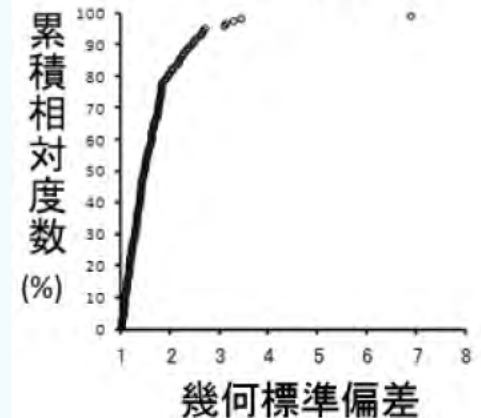
90%値 2.5 (日間変動が大きいケース)

作業環境濃度の日間変動 90%値 1.9

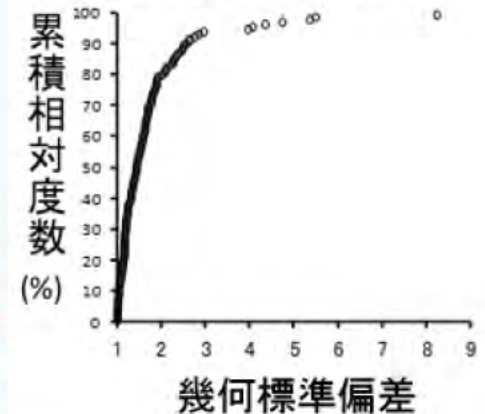
個人曝露濃度の日間変動は大きい

熊谷信二ら. 産業医学 1992;34: 30-38.

有機溶剤曝露労働者126人
日間変動の大きさ



粒子状物質曝露労働者128人
日間変動の大きさ

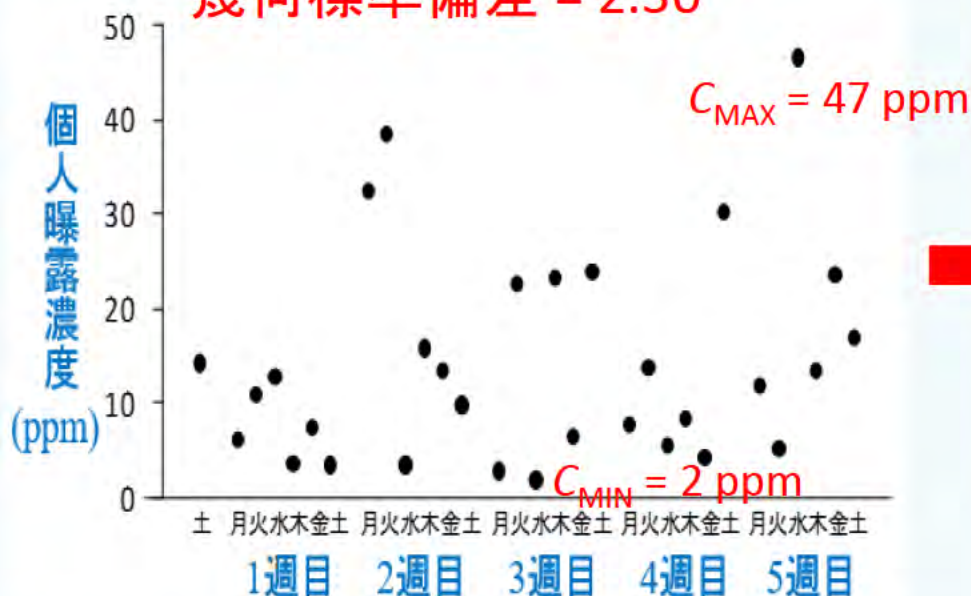


日間変動の大きさ(日々の変動)

1カ月間の8時間曝露濃度の最高値と最低値の比

トルエンの8時間曝露濃度

幾何標準偏差 = 2.30



$$\frac{C_{MAX}}{C_{MIN}} = \frac{47}{2} = 23.5 \text{ 倍}$$

8時間曝露濃度の幾何標準偏差

中央値 1.7 (日間変動が一般的なケース) $\Rightarrow C_{MAX} / C_{MIN} = 7.9$

90%値 2.5 (日間変動が大きいケース) $\Rightarrow C_{MAX} / C_{MIN} = 30$

97%値 / 3%値 **理論値**

変動の大きさはどの程度か??

日内変動の大きさ

有機溶剤作業員117人

15分間曝露濃度を8時間の間に5回以上測定
各人ごとに幾何標準偏差を算出

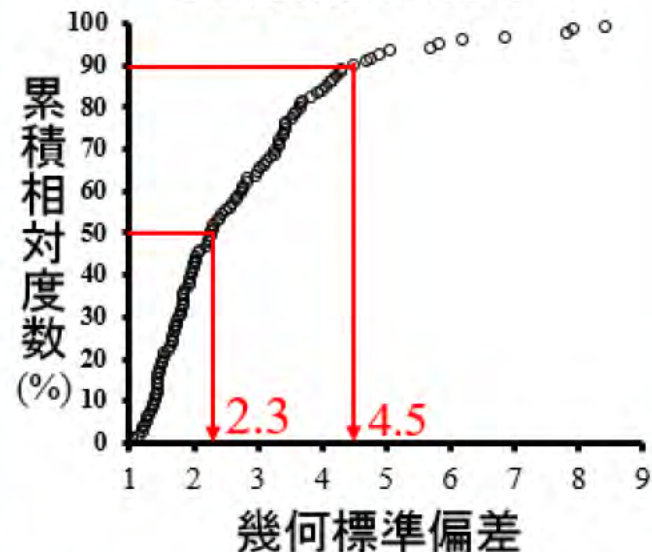


15分間曝露濃度の幾何標準偏差

中央値 2.3 (日内変動が一般的なケースの代表値)

90%値 4.5 (日内変動が大きいケースの代表値)

有機溶剤作業員117人
日内変動の大きさ

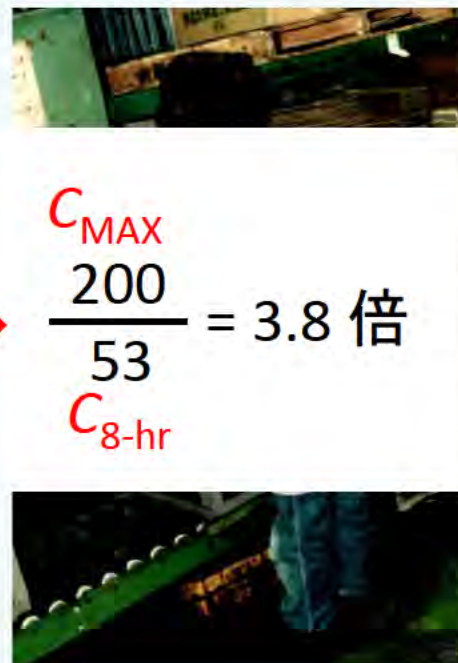
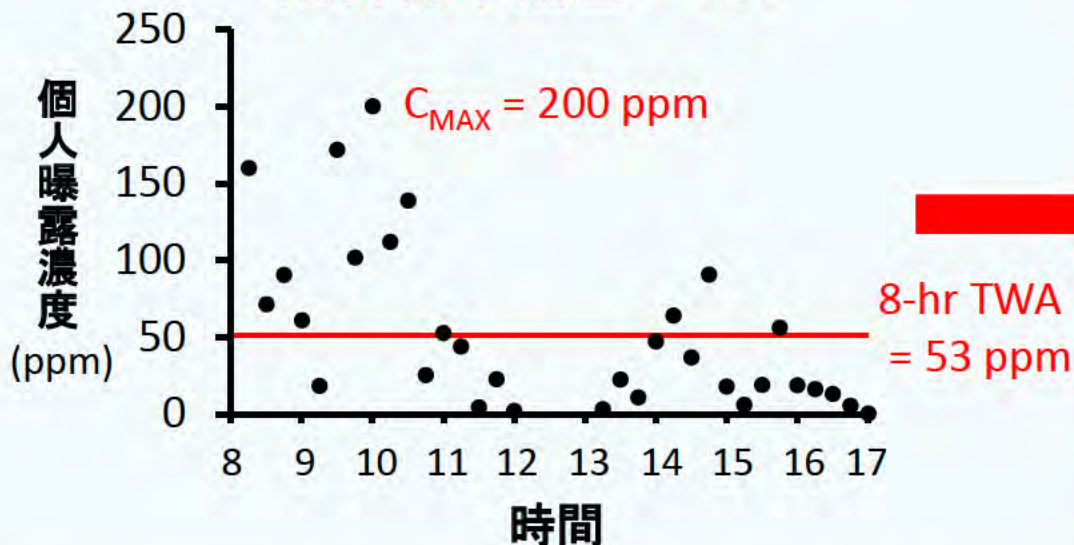


日内変動の大きさ

1日における15分間曝露濃度の最高値と8時間曝露濃度の比

1,1,1-トリクロロエタンの15分間曝露濃度

幾何標準偏差 = 4.07



15分間曝露濃度の幾何標準偏差

中央値 2.3 (日内変動が一般的なケース) $\Rightarrow C_{MAX} / C_{8-hr} = 3.4$

90%値 4.5 (日内変動が大きいケース) $\Rightarrow C_{MAX} / C_{8-hr} = 5.5$

97%値 / 平均 理論値

平均化時間の重要性

平均化時間が長くなると、
分布のパラメータはどうなるか

平均 μ は変化しない
標準偏差 σ が小さくなる

幾何平均 μ_g が大きくなる
幾何標準偏差 σ_g が小さくなる

平均化時間が同一でなければ、
濃度変動の大きさを比較できない

作業員A 15分間平均濃度の幾何標準偏差が2.4
作業員B 15分間平均濃度の幾何標準偏差が2.0

比較できる

作業員A 15分間平均濃度の幾何標準偏差が2.4
作業員B 30分間平均濃度の幾何標準偏差が2.0

比較できない

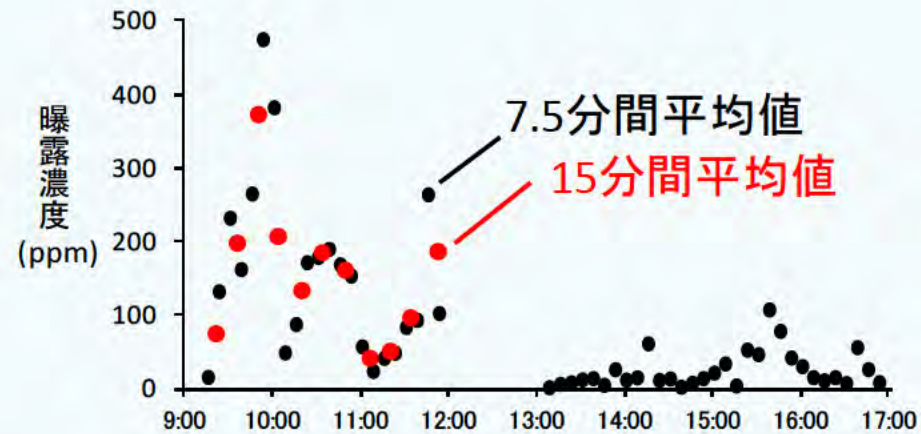


図3.5 洗浄作業員の1,1,1-トリクロロエタン曝露濃度
7.5分間平均濃度の日内変動 (文献3-3より)

個人曝露濃度の評価法

様々な個人曝露評価法

欧米

NIOSH 1977年

AIHA 1991年 1998年改訂 2006年改訂

EU 1995年

英国労働衛生学会・オランダ労働衛生学会 2011年

日本

曝露区分法(熊谷ら、成清ら) 1988年以降

日本産業衛生学会 作業環境測定検討委員会 2005年

産業衛生技術部会 個人曝露測定委員会 2015年

化学物質の個人ばく露測定のガイドライン

厚労省の委員会 現在

化学物質の個人ばく露測定ガイドライン

日本産業衛生学会・産業衛生技術部会

個人ばく露測定に関する委員会 委員長 橋本晴男

図. 個人ばく露測定全体のプロセス 産業衛生学雑誌 2015; 57: 65-114.

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

I. 事前調査

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

◆ 事前調査の目的(決定すべき重要な事項)

順序	決定すべき重要な事項
1	評価対象とする化学物質
2	同等ばく露グループ(SEG)
3	ばく露の推定(ばく露の有無と程度) (SEG毎, 化学物質毎, 8hr/短時間別)
4	測定の要否(*)
5	必要なばく露低減措置の候補案



*原則として測定. 状況により測定しないで済む場合あり

測定計画に反映させる

② 同等ばく露グループ (SEG)

欧米ではばく露評価の基本単位

NIOSH 1977

Homogeneous Risk Group

EN 689 1995

Homogeneous Exposure Group

AIHA 2006

Similar Exposure Group (SEG)

BOSH-NVvA 2011

Similarly Exposed Group (SEG)

英蘭労働衛生学会

評価の基本単位という意味では、
作業環境測定における「単位作業場所」に相当
ただし、単位作業場所内の作業者グループではない

同等ばく露グループ (SEG)とは

同じ作業場で同じ作業を行う作業者のグループ

同じ作業場: 内部に仕切りのない作業場

同じ作業 : 同一の機械
同一の化学物質
同一の局所排気装置
同一の作業内容 (塗装など)
同一の作業方法 (吹付)



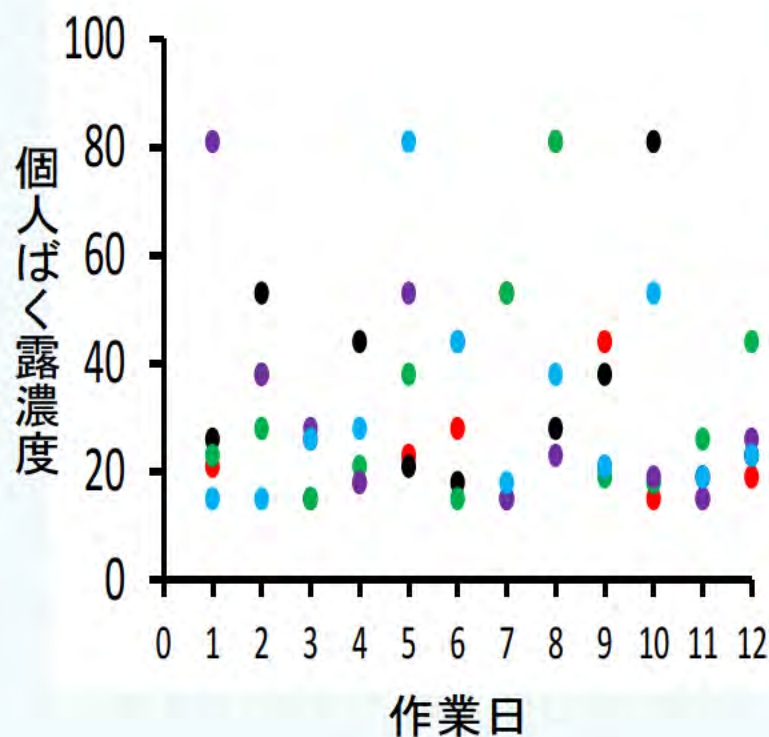
本当に同等ばく露になるのか？

同等ばく露とは

5人全員が40 ppmという意味ではない

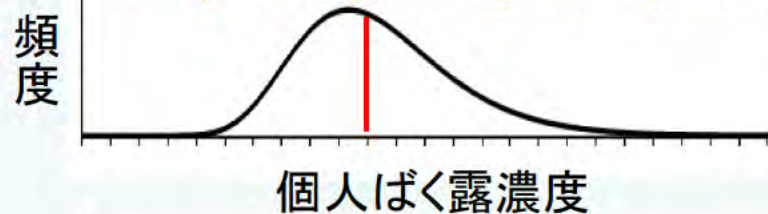
ある日の8-hr TWAが全員同じという意味ではない

各作業者の8-hr TWAには日間変動があるので、
ある日の8-hr TWAの作業者間の差は日間変動の表れと捉える
作業者間の本質的な差とは考えない

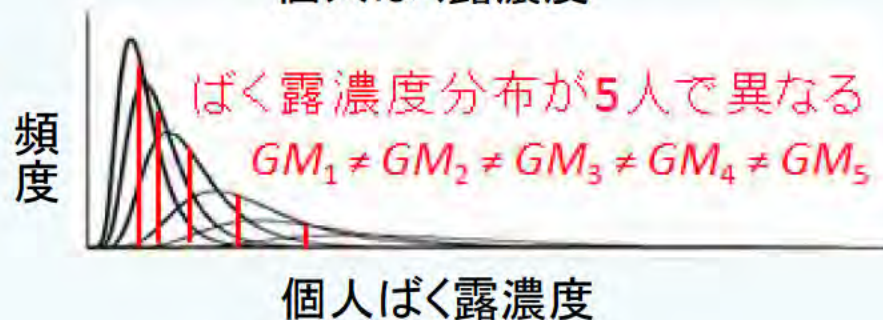


各作業者ごとに8-hr TWAを
長期間集めて分布を
作成すると同一になる

ばく露濃度分布が5人とも同じ
 $GM_1 = GM_2 = GM_3 = GM_4 = GM_5$



ばく露濃度分布が5人で異なる
 $GM_1 \neq GM_2 \neq GM_3 \neq GM_4 \neq GM_5$



同等ばく露グループ (SEG)

現実には

SEG内の作業者であっても、ばく露濃度分布は完全には一致しないが、大きな差がないとみなす

個人ばく露濃度を測定して幾何標準偏差 *GSD* が大きい場合
(目安として3.0以上)



測定の妥当性の確認:

測定値を精査、異常値等はないか?

測定上の問題はないか?

変動が大きい原因は何か?

SEGの設定が妥当か?

分割等が必要でないか?

作業者間の差に明確な理由があればグループを再分類
SEGが作業者1人という場合もある

Ⅱ. 測定(狭義)

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

測定対象者の決定

SEGから5人以上(推奨)をランダムに選択
最高ばく露者を選択する方法もある

サンプリング時間

許容濃度(OEL)は、8-hr TWAとして定められているので
8時間サンプリングが基本である

初回測定時には、原則として8時間サンプリング

毎回8時間サンプリングを実施すると多大なコストと労力

午前あるいは午後にサンプリング(測定者の移動や準備
も含めて)が完了できれば、機動的な測定が可能になる



サンプリング時間を2時間以上確保すればよいこととする

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

測定・分析

サンプリング



定量分析



図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

評価値の算出

測定値が5個以上の場合

C_i : 測定値

幾何平均 GM

$$\log GM = \frac{\sum_{i=1}^n \log C_i}{n}$$

幾何標準偏差 GSD

$$\log GSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log C_i - \log GM)^2}{n - 1}}$$

算術平均 AM

$$AM = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

平均の通常の
計算法を使う

95%値 X_{95}

$$\log X_{95} = \log GM + 1.645 \log GSD$$



SEGの管理区分の決定

評価値の算出

測定値が5個未満の場合

算術平均 $AM = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$ C_i : 測定値

95%値 $X_{95} = 3 AM$



SEGの管理区分の決定

測定値が少ない場合は、 GSD の計算値に大きな誤差が含まれる可能性があるため、下式は使用しない

$$\log X_{95} = \log GM + 1.645 \log GSD$$

全変動の幾何標準偏差

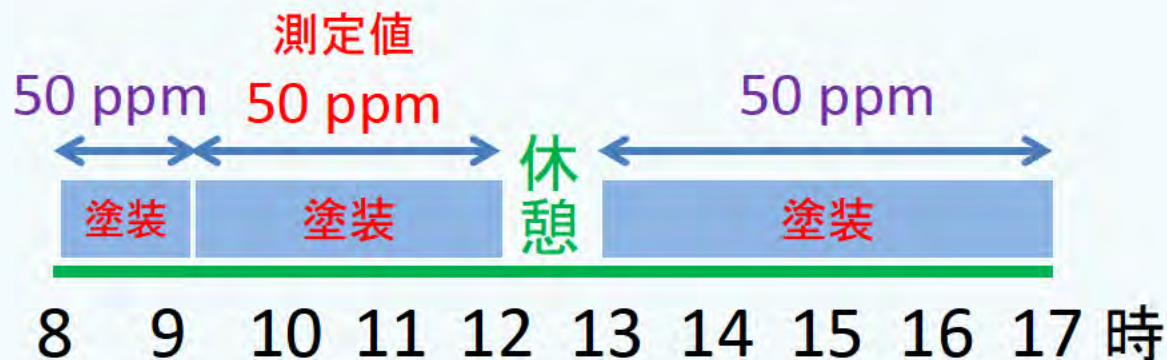
実際の現場では、 GSD は2~3程度 $C_{MAX} / AM_{Mean} = 2.5 \sim 3.3$

サンプリング時間が8時間未満の測定値の扱い

- ① サンプリング時間帯以外は対象作業がないケース
⇒ 対象作業がない時間帯のばく露濃度を0と仮定

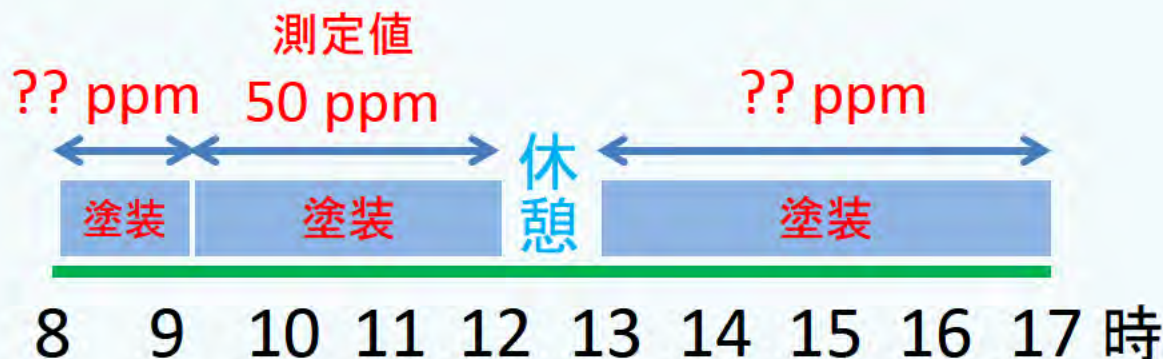


- ② サンプリング時間帯とそれ以外の時間帯に同一の作業が行われる場合で、時間的変動が小さいと判断できるケース
⇒ 両時間帯のばく露濃度を同一とみなす



サンプリング時間が8時間未満の測定値の扱い

㊦ 時間的変動が小さいと判断できないケース



日内変動の大きさを考慮した係数を測定値に乗じる

サンプリング	係数
1-2時間	2.0倍
2-4時間	1.5倍
4-6時間	1.2倍

上図の場合

サンプリング 2時間30分

係数 = 1.5 を使用

8時間平均値 = $50 \times 1.5 = 75$ (ppm)

例えば、2時間サンプリングの場合

1 24 ppm ⇒ 48 ppm
2 36 ppm ⇒ 72 ppm
3 12 ppm ⇒ 24 ppm
4 15 ppm ⇒ 30 ppm
5 7 ppm ⇒ 14 ppm



⇒ AM, X_{95}

管理区分決定

サンプリング	係数
1-2時間	2.0倍
2-4時間	1.5倍
4-6時間	1.2倍

例えば、5時間サンプリングの場合

1 24 ppm ⇒ 29 ppm
2 36 ppm ⇒ 43 ppm
3 12 ppm ⇒ 14 ppm
4 15 ppm ⇒ 18 ppm
5 7 ppm ⇒ 8 ppm



⇒ AM, X_{95}

管理区分決定

管理区分の判定

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

管理区分は6区分とする

	定義	判定
管理1A	$X_{95} < 0.1 \times \text{OEL}$	極めて良好
1B	$X_{95} < \text{OEL}$ かつ $\text{AM} < 0.1 \times \text{OEL}$	十分に良好
1C	$X_{95} < \text{OEL}$ かつ $0.1 \times \text{OEL} \leq \text{AM}$	良好
管理2A	$\text{OEL} \leq X_{95}$ かつ $\text{AM} \leq 0.5 \times \text{OEL}$	現状の対策の有効性を精査 更なるばく露低減に努める
2B	$\text{OEL} \leq X_{95}$ かつ $0.5 \times \text{OEL} < \text{AM} \leq \text{OEL}$	ばく露低減策を行う
管理3	$\text{OEL} < \text{AM}$	ばく露低減策を速やかに行う

改善努力義務

改善義務

管理区分2Bを「改善義務」とする理由

$$\text{「} OEL \leq X_{95} \text{」 and 「} 0.5 < \frac{AM}{OEL} \leq 1 \text{」}$$

SEGのばく露濃度がOELを超える割合は5～50%

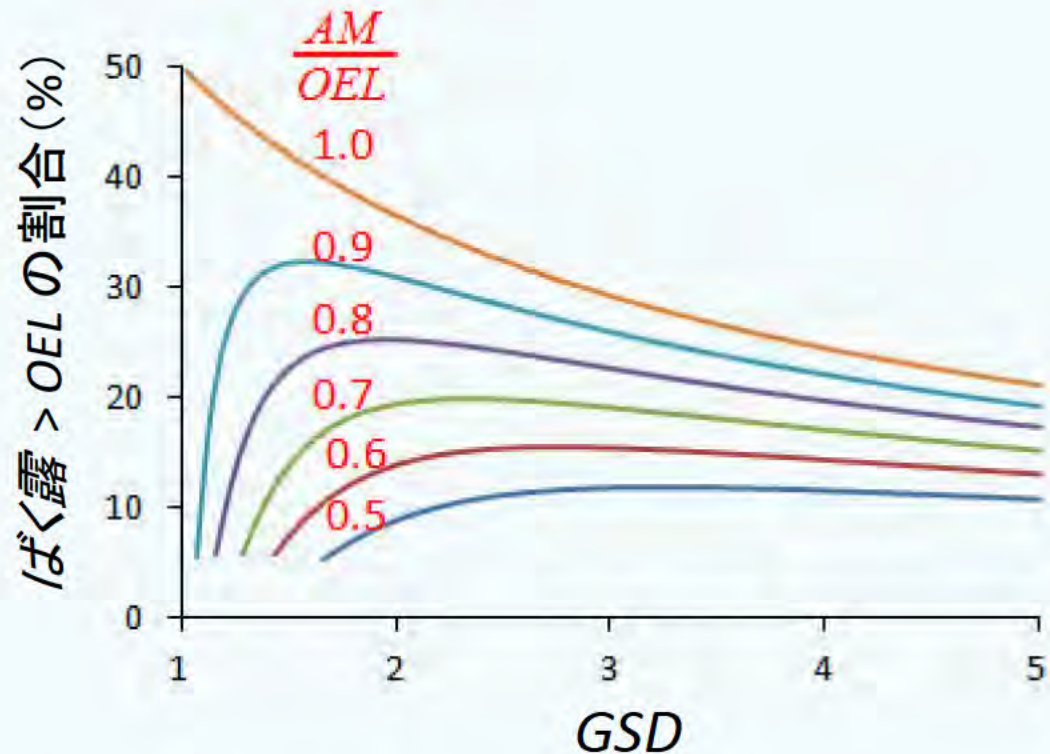
実際の産業現場

$GSD = 2 \sim 3$ 程度

SEGのばく露濃度がOELを超える割合は10～40%



ばく露低減対策が必須



管理区分2Bにおいて

個人ばく露濃度がOELを超える割合

Ⅲ. リスク低減

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	Ⅰ. 事前調査
2	測定計画立案	Ⅱ. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	Ⅲ. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

個人ばく露評価に基づく対策

管理3
管理2B → 改善義務

管理2A → 改善努力義務

対策の優先順

- ① 作業環境管理(局所排気装置など)
- ② 作業管理(保護具など)

優先順は作業環境評価の場合と同じ

図. 個人ばく露測定全体のプロセス

No.	ステップ(単位手順)	ステージ(段階)
1	作業場の事前調査	I. 事前調査
2	測定計画立案	II. 測定(狭義)
3	測定	
4	分析	
5	測定値の評価	
6	管理区分の判定	
7	対策の策定	III. リスク低減措置
8	報告	
9	フォローアップ(*)	

(*) 対策実施, 再評価・測定など

個人曝露測定をめぐる誤解

個人曝露測定をめぐる誤解

誤解1 個人曝露測定は作業管理のための測定

誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない

日本作業環境測定協会

作業環境測定ガイドブック0

作業環境測定のための労働衛生の知識

誤解1 個人曝露測定は作業管理のための測定

気中濃度測定と管理の関係 (これって正しいの?)

表 労働衛生三管理とその管理状況の評価手法 作業環境測定ガイドブック0

管理手法	評価手法	評価の基準	評価内容
作業環境管理	作業環境測定	管理濃度	作業場への飛散の程度
作業管理	個人曝露測定	許容濃度	作業者の曝露の程度
健康管理	健康診断	生理値	健康影響の程度

気中濃度測定と管理の関係 (間違っている関係)

作業環境測定 ⇒ 作業環境管理
作業工程の変更
局所排気装置

個人曝露測定 ⇒ 作業管理
防塵マスクの着用
作業姿勢

特殊健康診断 ⇒ 健康管理
事後指導

作業環境管理

発生源の密閉化



局所排気装置



プッシュプル換気装置



全体換気装置



作業管理

丁寧な作業 有害物を発散させない

作業姿勢 発生源に顔を近づけない
局所排気装置の吸い込み側に立たない

保護具 防じんマスク 防毒マスク



気中濃度測定と管理の関係 (正しい関係)

作業環境測定 ⇒ 作業環境管理
作業管理

個人曝露測定 ⇒ 作業環境管理
作業管理

特殊健康診断 ⇒ 作業環境管理
作業管理

個人曝露測定を用いて作業環境管理を行う

焼結合金工場

金属粉末とパラフィンをアセトン中で混合
噴霧しながらアセトンを蒸発させる

アセトンの個人曝露濃度を測定

1000 ppm 前後

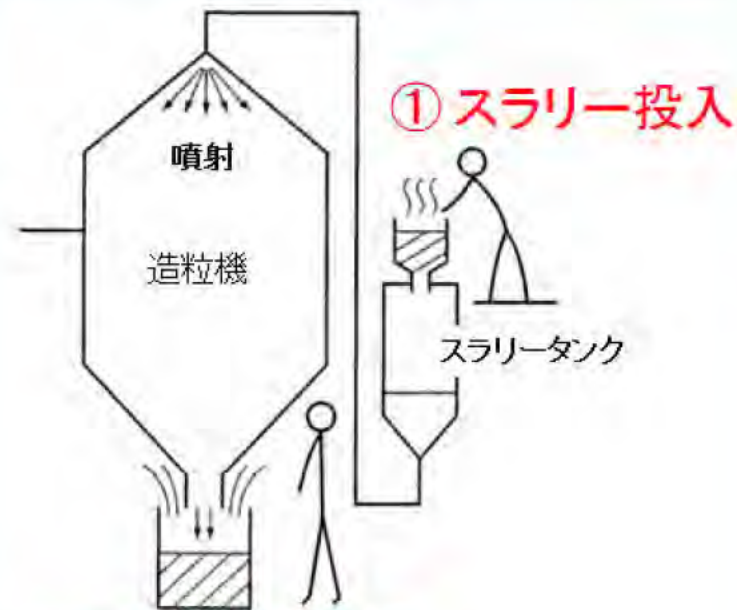
許容濃度 200 ppm

アセトン曝露の機会

- ① スラリーの投入
- ② 装置のアセトンによる洗浄
- ③ 洗浄液(アセトン)の回収

作業別曝露濃度はいずれも高い

⇒ 局所排気装置の設置



① スラリー投入

② 造粒機の洗浄

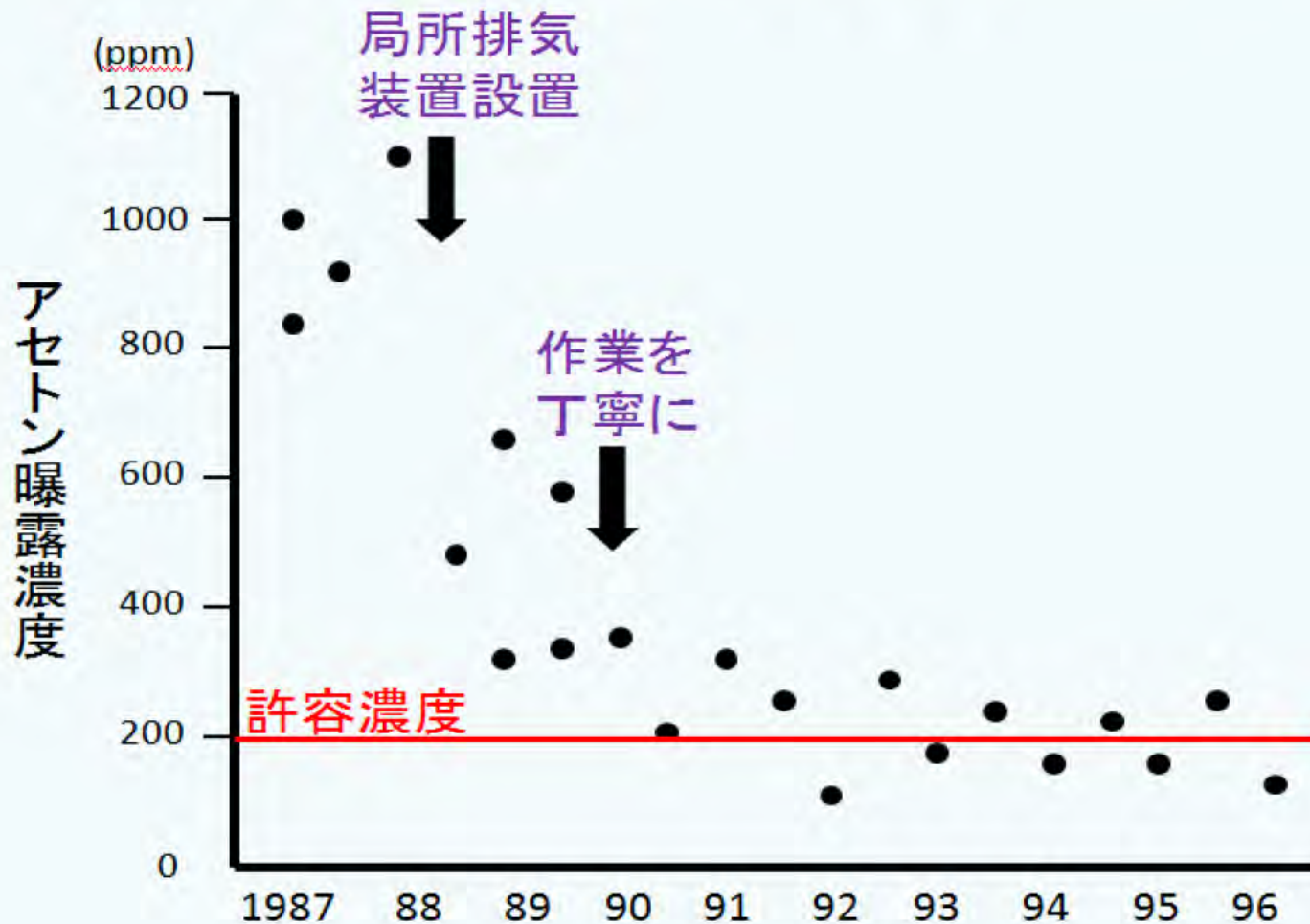
③ 上澄み液の回収



個人曝露測定の結果に基づき

局所排気装置設置 = 作業環境管理

丁寧な作業を行う = 作業管理



気中濃度測定と管理の関係(正しい概念)

作業環境測定 = 作業環境管理のための測定
(+ 作業管理のための測定)

個人曝露測定 = 作業環境管理のための測定
+ 作業管理のための測定

作業環境測定
個人曝露測定
特殊健康診断

⇒

- 1 作業環境管理
- 2 作業管理
- 3 健康管理

~~誤解1 個人曝露測定は作業管理のための測定~~

誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない

「作業環境測定のための労働衛生の知識」より

「個人曝露測定は、それにより高い曝露が発見されても、それが直ちに問題となる因子の発見につながることは少なく、多くの場合、対策を検討するために再度行動範囲内の各地点の気中濃度の測定を行って、問題点を探さなければならない」

作業環境測定では

A測定により作業場の中で高濃度になる場所がわかる
B測定により高濃度になる作業が分かる

個人曝露測定では

8時間の平均濃度がわかるだけなので、どこに問題があるかがわからない

作業別曝露濃度を測定すれば、高濃度作業がわかる

誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない

徽章などを作る自営業の夫妻

夫：20歳代より30年以上家業の七宝焼きに従事
以前から、貧血、腎機能障害の指摘を受ける

鉛健診	血中鉛	98 $\mu\text{g}/\text{dL}$
	尿中 δ -ALA	43 mg/L
	ヘモグロビン	7.7 g/dL

妻：結婚後、約15年従事

鉛健診	血中鉛	70 $\mu\text{g}/\text{dL}$
	尿中 δ -ALA	67 mg/L
	ヘモグロビン	8.0 g/dL

作業工程

1. 釉薬を水で練る
2. 徽章など(銅製)に筆で
釉薬を塗る
3. はみ出た釉薬をきれいな
筆で吸い取る
4. 電気炉で釉薬を溶融する
5. 釉薬の粉を振り掛ける
6. 電気炉で釉薬を溶融する
7. グラインダで表面を研磨
8. バフ掛けで仕上げる

表1. 七宝焼き自営業者の鉛曝露濃度

作業者	測定日	鉛曝露濃度 (mg/m ³)
		改善前
夫	1	0.05
	2	0.08
	3	0.14
	4	0.24
	5	0.14
妻	1	ND
	2	0.01
	3	ND
	4	ND

ND: 0.01 mg/m³ 未満

許容濃度: 0.1 mg/m³

夫

すべての作業を担当

どの作業に問題があるか

⇒ 各作業別の曝露濃度を測定してみよう

妻

1. 釉薬を水で練る

2. 筆で釉薬を塗る

3. はみ出た釉薬をきれいな筆で吸い取る

妻は経気道的な取り込みは少ない

経口的取り込みがあるかもしれない

⇒ 筆を舐めて、筆先を揃える

⇒ 改善 ティッシュで筆先を揃える

表2. 七宝焼きにおける作業別の鉛曝露濃度

作業	鉛曝露濃度
	(mg/m ³)
	改善前
電気炉	0.03
電気炉 + 釉薬の振り掛け	0.30
グラインダ	0.10
バフ掛け	0.20

当時の許容濃度 0.1 mg/m³

改善 局所排気装置の設置

表3. 七宝焼きにおける作業別の鉛曝露濃度

作業	鉛曝露濃度 (mg/m ³)	
	改善前	改善後
電気炉	0.03	0.01
電気炉 + 釉薬の振り掛け	0.30	0.01
グラインダ	0.10	0.07
バフ掛け	0.20	0.03

表4. 七宝焼き自営業者の鉛曝露濃度

作業者	測定日	鉛曝露濃度 (mg/m ³)	
		改善前	改善後
夫	1	0.05	0.03
	2	0.08	0.08
	3	0.14	0.05
	4	0.24	0.09
	5	0.14	0.03
妻	1	ND	—
	2	0.01	—
	3	ND	—
	4	ND	—

ND: 0.01 mg/m³ 未満

許容濃度: 0.1 mg/m³

その後の経過

EDTA投与による治療
作業環境管理・作業管理

3ヶ月後

夫： 血中鉛	98 $\mu\text{g/dL}$	\Rightarrow	28.8 $\mu\text{g/dL}$
尿中 δ -ALA	43 mg/L	\Rightarrow	2.7 mg/L
ヘモグロビン	7.7 g/dL	\Rightarrow	10.1 g/dL
妻： 血中鉛	70 $\mu\text{g/dL}$	\Rightarrow	21.9 $\mu\text{g/dL}$
尿中 δ -ALA	67 mg/L	\Rightarrow	0.5 mg/L
ヘモグロビン	8.0 g/dL	\Rightarrow	9.9 g/dL

誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない

「作業環境測定のための労働衛生の知識」より

「個人曝露測定は、それにより高い曝露が発見されても、それが直ちに問題となる因子の発見につながることは少なく、多くの場合、対策を検討するために再度行動範囲内の各地点の気中濃度の測定を行って、問題点を探さなければならない」

作業環境測定では

A測定により作業場の中で高濃度になる場所がわかる
B測定により高濃度になる作業が分かる

個人曝露測定では

8時間の平均濃度がわかるだけなので、どこに問題があるかがわからない

作業別曝露濃度を測定すれば、高濃度作業がわかる

~~誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない~~

正解 個人曝露測定により問題となる因子がわかる

個人曝露測定

8時間曝露濃度

短時間曝露濃度

作業別曝露濃度



これらの測定も曝露測定
このことを理解していない

作業環境測定

A測定

B測定

A測定だけでは作業者の高濃度曝露を見逃す可能性があるために導入された

まとめ

誤解1 個人曝露測定は作業管理のための測定

正解 個人曝露測定は、作業環境管理のための測定
および 作業管理のための測定

誤解2 個人曝露測定では問題となる因子がわからない

正解 個人曝露測定により、問題となる因子がわかる

測定・評価システム

個人曝露測定

8時間曝露測定 1作業日の平均曝露濃度が判明

短時間曝露測定 高い曝露を受ける時の曝露濃度が判明

許容濃度と比較することにより、
現状で問題があるか否かを判断するのに最適

作業環境測定 日本の法律ではこちらが義務付けられている

A測定 作業場における有害物質の拡散状況
濃度が高い場所が判明する

B測定 作業者の曝露が高い作業位置と時間帯が判明する

それぞれ長所と短所がある

労働安全衛生法に基づく定期測定のあるべき姿

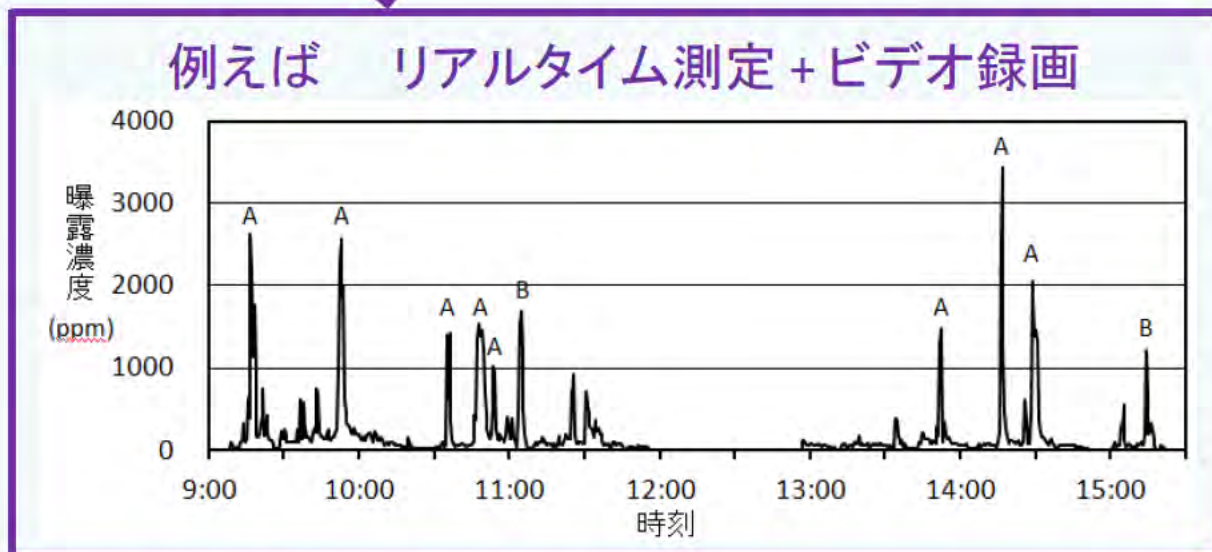
3つの測定から選択する

作業環境測定

個人曝露測定

改善のための測定

例えば リアルタイム測定 + ビデオ録画



その時、その現場で必要な測定を行う

法律で義務付けるのに、どの測定がいいかの議論はもう止めよう

ご静聴ありがとうございました