

技術発表(6)

本学における鉱物性粉塵の作業環境測定について

関根 守, 塙 浩之, 武田 誠,
崔 瑄娥

「本学における鉱物性粉塵の作業環境測定について」

発表者 関根守²⁾ 武田誠¹⁾ 埜浩之²⁾ 崔瑄娥²⁾

1) 茨城大学工学部技術部 2) 茨城大学機器分析センター

1、はじめに

作業環境評価基準の一部改正等について平成 21 年 3 月粉じんの管理濃度が改正された。管理濃度は医学的見地などから年々きびしくなっている。じん肺の発生は、空气中に浮遊している粒子状物質のうち、特に肺胞にまで到達する大きさの粒子が密接に関係している。肺胞に沈着する粉じんを「吸入性粉じん (Respirabl dust)」という。作業環境管理ではこのような粉じんが測定対象物となる。

本学でも、粉じんを発生する可能性がある作業もみられる。その状況を的確に知るために作業環境測定が不可欠である。今回、その取組を報告する。

2、方法

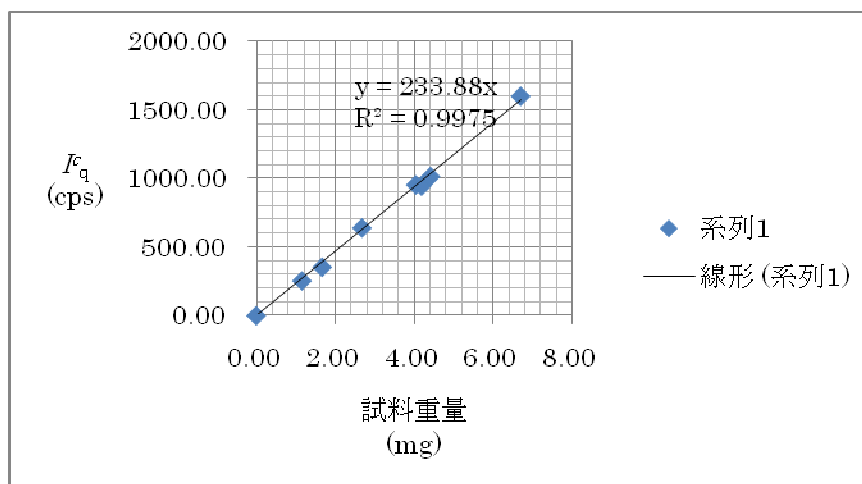


(写真1 A 単位作業場)

本学の A 学部 A 単位作業場の粉じん濃度を測定した。この作業場は、「コンクリートを使用した試料の作成と性能試験」を行っており、「粉じん障害防止規則別表 2 の 8、同第 25 条の特定粉じん作業場に該当し、作業環境測定が義務づけられている。作業環境測定基準に従い、分粒装置 (4 μ m50%カット) PM-4 (NW-354 型) を使用したろ過捕集方法及び重量分析法で行い。また、遊離ケイ酸含有率 (Q) を、堆積粉じんの再じん法で行い、X線回折分析法により求めた。

遊離ケイ酸含有率の測定は、X線回折分析法で堆積粉じんを採取し再発じん法で粒度調整をおこなった。X線回折分析は基底標準吸収補正法で粉じん中の遊離ケイ酸含有率 (Q 値) を求め、求めた Q 値を管理濃度に算入して管理濃度を求めた。

その結果、A 単位作業場は定性分析で石英のみの存在が認められた。定量分析の結果 8% (クリストバライト、トリジマイトは 0%) の存在を確認した。



(図1 X線回折測定による石英の検量線)

管理濃度は遊離ケイ酸の関数式であらわされる。

E=3.0/1.19Q+1 E 管理濃度 (mg/m³) Q 遊離けい酸含有率 (%)

その結果、管理濃度は 0.285 (mg/m³) になった。次に単位作業場の粉じん濃度の測定と質量濃度変換係数の決定をおこない、この作業場の管理区分を判定した。

遊離ケイ酸含有率の測定は機器分析センターで所有する粉末X線回折装置 RINT-2000(リガク)を使用した。基底標準板試料板 (Zn, Al)は(株)リガク製を使用。試薬 粉じん分析標準試料 (標準石英・クリストバライト・トリジマイト)は日本作業環境測定協会より購入した。

3、結果

今回の測定で採取したサンプルから吸入性粉じんの遊離ケイ酸を含む粉じんを検出した。その結果「じん肺」が発生する可能性がある判断される。作業環境管理対策として何らかの設備対策をとることが重要であるが、現状では適切な保護具の使用を確実に使用するのが緊急避難的な対策と考えられる。

今回は、定性分析により炭酸カルシウム (CaCO₂) の存在が確認されたため、基底標準吸収補正法の基底標準板として亜鉛板を用いたため亜鉛の回折角度と CaCO₂ の第二強線の回折角度が重なるので、吸収補正に影響がでた。急ぎよ亜鉛板からアルミニウム板に変更して吸収補正を行った。

4、考察

大学の実験施設は多くの労働者 (教員、職員) また、学生が多種多様な作業形態 (研究) を行い、特に法人化以降の厚生労働省労働基準法および労働安全衛生法 (以後、労衛法) の適用を受けているにもかかわらず、労働安全衛生に対する認識が低く、研究優先になっていて作業環境や方法の改善が進みにくい状況にある。

作業環境管理については、発生源の特定、作業者の作業内容、設備の稼働状況、排気装置稼働状況など綿密な調査と対応策が必要になってくる。

作業管理については、作業者の教育、作業場や堆積粉じんの清掃、保護具の着用、衛生管理者による職場の巡視が必要である。

最後に

今回、学内共同の機器分析センターに設置してある X線回折装置を利用して測定を行い自社測定で経費節減などのメリットを生かすことができた。従来の作業環境測定は工学部技術部の継続雇用者を中心とした支援体制も実績をあげており、今回粉じんの作業環境測定も加わることで機器分析センターと工学部技術部が全学の安衛法でさらに重要な役割を担っている。このような視点が教職員のより快適な職場環境維持・向上につながっていると思う。

謝辞

今回の粉じんの作業環境測定について、労務課安全衛生係の係長 長谷川照晃氏には全般のマネジメントをしていただいた。粉末X線回折装置の回転試料ホルダーは工学部技術部で製作していただいた。粉末X線回折装置の測定法について田切美智雄名誉教授の指導を受けた。粉じん作業の実際については、群馬大学工学部技術部の指導・助言を受けた。関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

作業環境ガイドブック 0 「総論編」 (社) 日本作業環境測定協会

作業環境ガイドブック 1 「鉱物性粉じん・石綿」 (社) 日本作業環境測定協会

本学における鉱物性粉塵の作業環境測定について

発表者 武田 誠 埜 浩之
崔 瑄娥 関根 守

防塵マスク未着用 労基署のは正勧告で同志社大学が謝罪会見

2010.3.15

同志社大理工学部で実験中の研究員に防塵マスクをつけさせていなかったなどとして、京都南労基署から労働安全衛生法違反などで是正勧告を受けたことについて、片山博生副学長らが15日、学内で会見し「学生や研究員の方々に迷惑をかけた」と謝罪した。

大学によると、研究室に所属する男性研究員が**5回(各10分間)**にわたって粉状のアルミニウムを乳鉢で混ぜて袋詰めする作業を実施。4年の男子学生1人も昨年10月から数ヶ月間**週1回のペース**で、同様の作業を繰り返した。いずれもインフルエンザ用マスクを着用していたという。

大学側は、責任者の男性教授(59)が、国の定めた「粉じん障害防止規則」に規定されていることを認識していなかったためとしている。

2人がじん肺に感染していないかどうか健康診断を行う方針だが、処分は「検討していない」という。片山副学長は「防塵マスクは置いてあったが、認識が甘かった」としている。(産経ニュース)

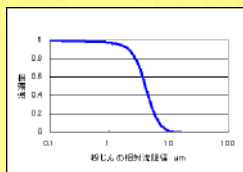


会見で謝罪する片山副学長(左)ら=15日午後2時4分、京田辺市の同志社大京田辺キャンパス

測定対象粉じん 吸入性粉じん 粒径10μm以下(肺胞まで届く)

①環境空气中の土石、鉱物、金属または炭素の粉じん(石棉を除く・石棉障害予防規則)

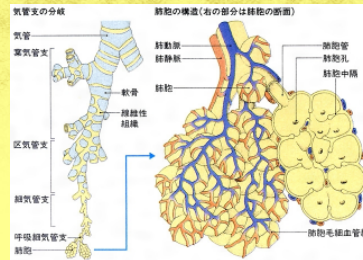
②労働安全衛生法(作業環境測定基準)では、測定対象の浮遊粉じんの粒径を**4μm50%**の分粒特性を持つ分粒装置で捕集したものとします。



$P = \frac{1}{1 + e^{k(D - D_0)}}$
 $k = 0.57 + \log(0.0020)$
 D_0 : 標準偏差xに対する
 分粒装置分粒
 $k = 0.57 + \log(x)$

作業環境測定基準に示されている透過率特性

気管支の分岐と肺胞の構造



肺胞の大きさ
 径0.1~0.3mm
 7~15億個
 表面積 90~140m²

- ・10μm 鼻孔・咽喉部に沈着
- ・5μm前後 気道の粘膜に覆われた気管に付着
- ・1~2μm 肺胞への沈着率が高い

粉じんの大きさ

粒子の沈降速度 粒径100μm(0.1mm)で26cm/s
 10μm(0.01mm)で0.31cm/s
 1μm(0.001mm)で0.0035cm/s

1μm(0.001mm)の粒子が静止空間で1m沈降するためには**約8時間**かかることになる。そのほかに粒子に働く重力、遠心力、静電気力、熱泳動力、ブラウン拡散、慣性力等が働く

(作業環境測定ガイドブック1「鉱物性粉じん・石棉」)

塵肺

原因となる粉塵の化学組成により症状の現れ方、進行の早さが異なる。

珪肺

石英、珪石など遊離珪酸を含む粉塵の吸入が原因。

アルミ肺

アルミニウム粉塵の吸入が原因。進行が早く、数年程度で呼吸困難、衰弱などの症状が現れる。

ボーキサイト肺

アルミニウムの原料であるボーキサイトの粉塵の吸入が原因。進行が極めて早く、2~4年で死亡にいたる。

酸化鉄肺(鉄肺)

酸化鉄の吸入が原因。電気溶接工にみられる。あまり進行しないといわれる。

石棉肺

石棉(アスベスト)の吸入が原因。肺癌の合併が多い。また、悪性中皮腫を合併する。

じん肺について

①じん肺とは

主として小さな土ぼこり・金属の粒などの無機物・**鉱物性粉じん**の発生する環境で仕事をしている方が、その粉じんを長い年月にわたって多量に吸い込むことで、肺の**組織が線維化し**、硬くなって弾力を失ってしまう病気をじん肺といいます。

②じん肺の症状

初期症状 息切れ・痰・咳が増える。進行すると肺の組織が壊され、呼吸困難。また、気管支炎、肺がん、気胸などの合併症にかかりやすくなる。粉じん作業行っているときは気づかなくても、じん肺の症状は数年から**十数年かけてゆっくり進行**する。

③じん肺の治療

辞めた後でも病気が進行する。

治療方法がない。

咳→鎮咳剤 痰→去痰剤 呼吸困難→酸素療法

(第7次粉じん障害防止総合対策について 厚生労働省)

いったんじん肺にかかるともとの**正常な肺**にはもどらず、
粉じん作業を**やめた後も病気は進行**します。

さらにじん肺を治す**根本的な治療がない**ことを考えると、
粉じんの発生源対策、局所排気等の適正な稼働、呼吸用保護具の適正な着用などにより粉じんへの暴露防止対策を徹底することが重要です。

(第7次粉じん障害防止総合対策について 厚生労働省)

鉱物性粉じんの管理濃度（E）の推移

	2005年以前	2005年4月	2009年4月
	2.9/ (0.22Q+1)	3.0/ (0.59Q+1)	3.0/ (1.19Q+1)
Q (%)	2005年以前	2005年4月	2009年4月
0	2.9	3.0	3.0
1	2.38	1.89	1.37
5	1.38	0.76	0.43
10	0.91	0.43	0.23
20	0.54	0.23	0.12

E 管理濃度 (mg/m³)

Q 当該粉じん中の遊離ケイ酸含有率 (%)

石英、クリストバライト、トリジマイトなどの結晶質シリカの総称

遊離ケイ酸を代表するものが石英 作業環境測定では評価（管理区分）に大きな影響が出る。

粉じん障害防止規則

第五章 作業環境測定(第二十五条-第二十六条の四)

第五章 作業環境測定（作業環境測定を行うべき屋内作業場）

第二十五条 令第二十一条第一号の厚生労働省令で定める土石、岩石、鉱物、金属又は炭素の粉じんを著しく発散する屋内作業場は、常時特定粉じん作業が行われる屋内作業場とする。

第二十六条 事業者は、**六月以内ごとに一回**、定期に、当該作業場における空気中の粉じんの濃度を測定しなければならない。

2 事業者は、前条の屋内作業場のうち、土石、岩石又は鉱物に係る特定粉じん作業を行う屋内作業場において、前項の測定を行うときは、当該粉じん中の**遊離けい酸**の含有率を測定しなければならない。

8 事業者は、第一項から第三項までの規定による測定を行ったときは、その都度、次の事項を記録して、これを**七年間保存**しなければならない。

(評価の結果に基づく措置)

第二十六条の三事業者は、前条第一項の規定による評価の結果、**第三管理区分に区分された場所**については、直ちに、施設、設備、作業工程又は作業方法の点検を行い、その結果に基づき、施設又は設備の設置又は整備、作業工程又は作業方法の改善その他作業環境を改善するため必要な措置を講じ、当該場所の管理区分が**第一管理区分又は第二管理区分**とならなければならない。

2 事業者は前項の規定による措置を講じたときは、その効果を確認するため、同項の場所について当該粉じんの濃度を測定し、及びその結果の評価を行わなければならない。

3 前二項に定めるもののほか、事業者は、第一項の場所については、**労働者に有効な呼吸用保護具を使用させる**ほか、**健康診断の実施**その他労働者の健康の保持を図るため必要な措置を講じなければならない。

遊離ケイ酸含有率の測定

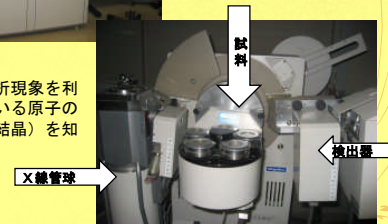
- ① 堆積粉じん試料の採取
- ② X線回折分析装置による定性分析
- ③ 石英のほか、クリストバライト、トリジマイトの存在の確認
- ④ 再発じん法による試料の採取
- ⑤ 基底標準吸収補正法による定量分析



機器分析センター
所有機器

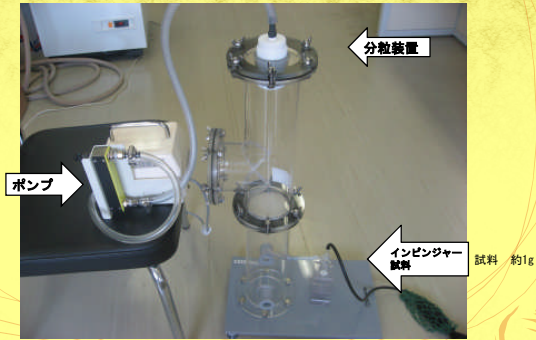
粉末X線回折装置
RINT-2000 (リガク)

X線を物質に照射し回折現象を利用し、物質を構成している原子の種類やその配列様式（結晶）を知ることができる。



堆積粉じん再じん装置
SKY-2型 柴田科学

慣性衝突式分粒装置
PM-4 20L/min



分析試料の作成（再じん試料）



検量線試料 0.2~1.2mg/cm²
石英・クリストバライト・トリジマイト 各7サンプル
単位作業場 サンプルの試料を採取する。
テフロンバインダーフィルター T60A20

遊離ケイ酸分析用標準試料



試薬 標準石英・トリジマイト・クリストバライト
日本作業環境測定協会

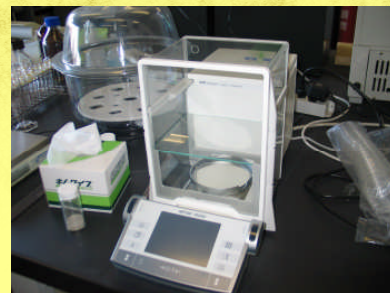


基底標準板（リガク製） X線粉末用試料台（工学部技術部製）

慣性衝突式分粒装置付きホルダーPM4（NW-354）

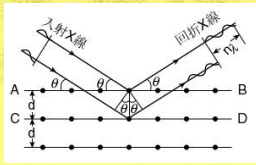


慣性衝突式分粒装置付ホルダーは、慣性衝突方式のPM₄分粒装置を装着したろ紙捕集装置。まず捕集板上に捕集し、これを通過した吸入性粉じんはガラス繊維ろ紙上に捕集される構造になっている。



機器分析センター所有機器 天秤
メトラー AX26DR 最小表示2μg
(読み取り限度0.01mg以下のものを使用することが法で定められている)

粉末X線回折法



ブラッグの法則

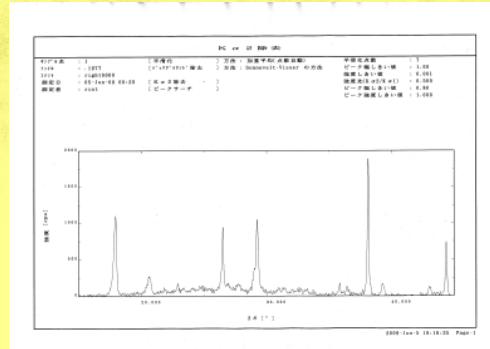
結晶の配列をに関する情報を得るための分析法

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

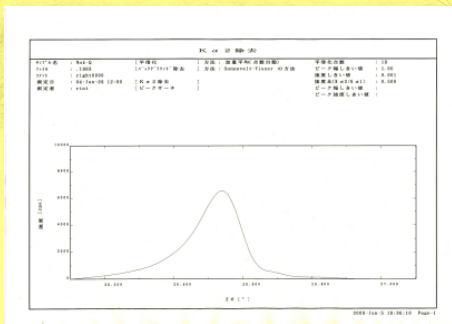
結晶の化学組成がわかる

化学組成は同じでも結晶形が異なる場合、結晶形を同定できる。

たとえば、同じSiO₂でも水晶、石英ガラス、トリジマイト、クリストバライトの結晶形は異なる（同質多形）



A 単位作業場の定性分析
過去のデータから石英(26.6)と炭酸カルシウム(29.4)を確認できる

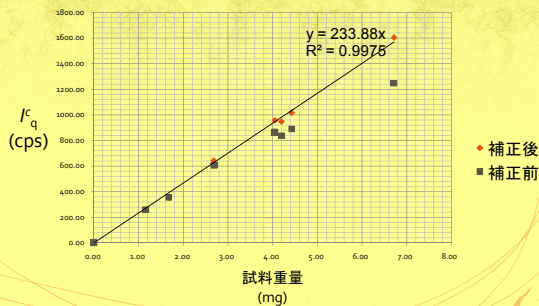


A 単位作業場の石英ピーク 2θ 26.6 (deg) (定量分析)
基底標準吸収補正法による定量

No	捕集前 (mg)	捕集後 (mg)	試料重量 (mg)	f_{Ni} (cps)	I_0 (cps)	I_1 (cps)	$2\theta_0$	$2\theta_1$	R_0	ΔR_0	K_0	f_{Ni} (cps)
blank			0.00	135.602	135.602	0	44.40	26.66	1.64	1.00		
3	19.23	20.39	1.16	-	138.565	258.971	44.40	26.66	1.64	1.02	0.98	254.41
7	18.99	20.66	1.67	-	135.52	354.119	44.40	26.66	1.64	1.00	1.00	354.29
1	19.44	22.12	2.68	-	125.97	604.575	44.40	26.66	1.64	0.93	1.06	641.81
5	19.27	23.31	4.05	-	119.999	866.409	44.40	26.66	1.64	0.88	1.10	956.09
8	18.83	23.02	4.20	-	116.274	836.96	44.40	26.66	1.64	0.86	1.13	946.84
2	19.31	23.73	4.42	-	114.743	889.717	44.40	26.66	1.64	0.85	1.14	1017.04
4	19.35	26.06	6.71	-	98.402	1247.53	44.40	26.66	1.64	0.73	1.29	1603.90
A 1	20.88	27.36	6.48	-	73.784	73.675	44.40	26.66	1.64	0.54	1.58	116.42
A 2	20.75	23.70	2.95	-	96.519	41.794	44.40	26.66	1.64	0.71	1.30	54.51
A 3	20.75	25.77	5.03	-	80.989	63.676	44.40	26.66	1.64	0.60	1.48	94.31

石英の補正回折強度 A L の回折線の減少率から補正係数を計算し、試料の補正回折線強度を求める。 単位作業場の遊塵ケイ酸値を換算値 8.02%とした

X線回折測定による検量線（石英）



併行測定の流れ

① 測定機器の準備	デジタル粉塵計 BG値の確認 感度調整 ろ紙の捕集前秤量 分粒装置衝突板のグリス塗り
② 機器設置	デジタル粉塵計の設置 ろ過捕集装置の準備
③ 併行測定実施	デジタル粉塵計の動作確認 ポンプの動作 流量計の管理
④ 併行測定終了	デジタル粉塵計の計数値の確認 ろ紙の捕集後秤量
⑤ 質量濃度変換係数 (k値) を求める	質量濃度変換係数K (mg/m ³ /cpm) 質量濃度C (mg/m ³) / 相対濃度R (cpm)



A単位作業場

「コンクリートを使用した試料の作成と性能試験」を行っており、「粉じん障害防止規則別表2の8、同第25条の特定粉じん作業場に該当し、作業環境測定が義務づけられている。」



粉じん濃度の測定

デジタル粉塵計
LD-3K2
柴田科学



併行測定

- ①ローリウムポンプ S1P-32L 柴田科学
- ②慣性衝突式分粒装置 PM4 NW-354型

補集流量 q (l/min)	20
補集時間 t1 (min)	60
補集空気量 Q (m3)	1.2
デジタル計数値E	757
計数時間 t2 (min)	10
ダークカウントD	0
デジタル計数値R (cpm)	75.7
補集前ろ紙重量W1 (mg)	38.49
補集後ろ紙重量W2 (mg)	38.67
補集粉じん量 W (mg)	0.18
空气中粉じん濃度C(mg/m3)	0.15
質量濃度変換係数 K	0.001982
遊離けい酸含有率 (%)	8.02
(測定方法)	
岩種	石英
測定点の数	6
管理濃度 E	0.284527
幾何平均濃度 (mg/m3)	1.70057
幾何標準偏差	1.070204
第一管理濃度 E1 (mg/m3)	5.126473
第二管理濃度 E2 (mg/m3)	2.129502

測定点	測定値			
	No.cout数	C1	X1	X2
1	757	1.5	0.17609	0.03101
2	879	1.7417	0.24098	0.05807
3	926	1.8349	0.26361	0.06949
4	884	1.7517	0.24345	0.05927
5	860	1.7041	0.23149	0.05359
6	853	1.6902	0.22794	0.05196

結果

1. 今回の測定で採取したサンプルから吸入性粉じんの遊離ケイ酸を含む粉じんを抽出した。その結果「じん肺」が発生する可能性があるかと判断される。
2. 作業環境管理対策として何らかの設備対策をとることが重要であるが、現状では適切な保護具の使用を確実に使用するのが緊急避難的な対策と考えられる。

3. 今回は、定性分析により炭酸カルシウム (CaCO3) の存在が確認されたため、基底標準吸収補正法の基底標準板として亜鉛板を用いたため亜鉛の回折角度とCaCO3の第二強線の回折角度が重なるので、吸収補正に影響がでた。亜鉛板からアルミニウム板に変更して吸収補正を行った。

4、考察

大学の実験施設は多くの労働者（教員、職員）また、学生が多様な作業形態（研究）を行い、特に法人化以降の厚生労働省労働基準法および労働安全衛生法（以後、労衛法）の適用を受けているにもかかわらず、労働安全衛生に対する認識が低く、研究優先になっていて作業環境や方法の改善が進みにくい状況にある。

作業者と連携を密にし、作業内容の確認、短時間、不規則、多様な作業内容に対応する測定の実施。

作業環境管理については、発生源の特定、作業者の作業内容、設備の稼働状況、排気装置稼働状況など綿密な調査と対応策が必要になってくる。

作業管理については、作業者の教育、作業場や堆積粉じんの清掃、保護具の着用、衛生管理者による職場の巡視が必要である。

粉じん障害防止規則

（昭和五十四年四月二十五日労働省令第十八号）

（清掃の実施）

第二十四条 事業者は、粉じん作業を行う屋内の作業場所については、**毎日一回以上、清掃**を行わなければならない。

2 事業者は、粉じん作業を行う屋内作業場の床、設備等及び前条第一項の休憩設備が設けられている場所の床等（屋内のものに限る。）については、**たい積した粉じんを除去するため、一月以内ごとに一回**、定期的に、真空掃除機を用いて、又は水洗する等粉じんの飛散しない方法によつて清掃を行わなければならない。ただし、粉じんの飛散しない方法により清掃を行うことが困難な場合で当該清掃に従事する労働者に有効な呼吸用保護具を使用させたときは、その他の方法により清掃を行うことができる。

粉塵の発生をおさえる

粉塵の発生する場所をふたなどで覆う

散水（掘削現場などに水をまく、粉状の原材料を予め水で濡らす）

粉塵を除去する

排気装置、除塵装置の使用

外気で粉塵を薄める

粉塵の吸入を防ぐ

防塵マスク、送気マスクなどの保護具を着用する

粉塵が付着しにくい服装を選ぶ

最後に

今回、学内共同の機器分析センターに設置してあるX線回折装置。天秤等を利用して測定を行い自社測定で経費節減などのメリットを生かすことができた。

従来の作業環境測定は工学部技術部の継続雇用者を中心とした支援体制も実績をあげており、今回粉じんの作業環境測定も加わることで機器分析センターと工学部技術部が全学の安衛法でさらに重要な役割を担っている。このような視点が教職員・学生のより快適な大学環境の維持・向上につながっている。

茨城大学作業場数

	平成19年		平成20年		平成21年		平成22年	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
水戸地区								
有機溶剤	25	26	33		33		39	
特定化学物質(2)	15	13	17		20		22	
特定化学物質(30)	13	10	10		27		32	
阿見地区								
有機溶剤	27	27	27		27		28	
特定化学物質(2)	33	32	32		32		33	
特定化学物質(30)	12	12	10		40		41	
日立地区								
有機溶剤	19	19	18		20		20	
特定化学物質(2)	9	9	9		9		5	
特定化学物質(30)	3	3	3		5		5	
合計	156	151	159		213		225	
特記事項	自社測定移行		ホルムアルデヒド追加		フロンティア実施			
①第2管理区分			水戸 有③-2		水戸 特化3③-1		水戸 特化3②-1	
②第2管理区分			特化30③-1 (水銀)		(水銀)		(水銀)	
③第3管理区分			(ベンゼン)					
			阿見 特化30②-2		阿見 特化30②-2		阿見 特化30②-1	
			(ホルムアルデヒド)		(ホルムアルデヒド)		(ホルムアルデヒド)	

謝辞

今回の粉じんの作業環境測定について、

労務課安全衛生係の係長 長谷川照晃氏には全般のマネジメントをしていただいた。

粉末X線回折装置の回転試料ホルダーは工学部技術部で製作していただいた。

粉末X線回折装置の測定法について田切美智雄名誉教授の指導を受けた。

粉じん作業環境測定の実際については、群馬大学工学部技術部の指導・助言を受けた。

関係各位に感謝申し上げます。

ご静聴ありがとうございました。



標準ガス発生装置

平成21年度 購入
島津GC-2014 ガスインジェクタ付