

F-1K を用いた RCF 取扱い作業現場の簡易測定法

名古屋俊士（早稲田大学）

1. 目的

リフラクトリーセラミックファイバー（以下、RCFと略す）は、IARCで2Bであることから、平成22年の「化学物質のリスク評価に係る企画検討会」で有害物曝露作業報告の対象物質に選定された。その後23年1月から3月の期間にRCF取扱い事業場から398の曝露作業報告が提出され、そのうち8事業場、40人の作業者に対して、24年度初期リスク評価の為の曝露濃度測定が実施された。その結果が「化学物質のリスク検討会」で検討された結果、詳細リスク評価対象物質になり、25年に4事業場、11人の作業者に対して詳細リスク評価のための曝露濃度測定が実施された。26年7月の詳細リスク評価の結果、「化学物質の健康障害防止措置検討会」において、RCF及びRCFを含む製剤その他の物を製造し、又は取扱う作業については、特化則の管理第2類物質と同様の措置を講じる必要があるとされた。この結果をもとに、27年11月に政省令が改正された。

これにより28年11月から、RCFの取扱い現場において作業環境測定の実施が義務化されることから、RCFの測定法に着目してきた。RCFなどの人造鉱物繊維の濃度測定には、石綿と同様に位相差顕微鏡を用いる方法（以下、PCM法と記す）が従来から用いられている。しかしRCFの製造や成形や加工作業を行う労働環境において、浮遊する繊維状物質に対する作業環境管理を行うためには、PCM法に比べて計測に熟練度を必要としない簡便な測定法として、繊維状物質を測定対象とするリアルタイム計測機器による測定も考えられる。そのような測定機器の一つであるファイバーモニターF-1K型（柴田科学株式会社製、以下、F-1Kと記す。）は、空気中に浮遊する粒子に、吸引したダクト内で電圧をかけて挙動を制御した状態でレーザー光を照射し、その散乱光信号を解析することにより繊維数濃度を算出する測定器である。

そこでこのF-1Kについて、RCF取扱い現場における簡易測定法として適用することの可能性に関して検討した。

2. RCF 取扱い作業現場の簡易測定の見証

2.1 目的

すでに実験室においては F-1K を用いた測定法と、RCF の従来の測定法である PCM 法との 1:1 の相関性が示され、F-1K は PCM 法とほぼ同等の精度で測定可能であるという知見が得られている。そこで、RCF 取扱い作業現場において、F-1K と PCM 法とによる併行測定及び A 測定を実施し、両者を比較することによって F-1K の現場適用の可能性を検討した。なお今回用いた F-1K は実験室における測定結果を踏まえ、校正用 RCF を用いて校正を行った RCF 専用の F-1K を用いた。

2.2 測定概要

RCF の加工を行っている工場にて、作業場 1 及び作業場 2、作業場 3 を選定し、測定を行った。各作業場の作業内容は作業場 1 が主に粉状の RCF の分級であり、また作業場 2 及び作業場 3 はどちらも、RCF の成型品の切断や研削などが主であった。それぞれの作業場に単位作業場所を設定し、各測定点の測定を、オープンフェイス型ホルダーであるディスポーザブルサンプラーと F-1K とによる併行測定とした。F-1K 内部のバックアップフィルターも測定点ごとに交換した。

各測定点の測定で得られた、ディスポーザブルサンプラーによる捕集試料から PCM 法で求めた繊維数濃度の測定値（以下、PCM-1 値と記す）と、F-1K 内部のバックアップフィルターによる捕集試料から PCM 法で求めた繊維数濃度の測定値（以下、PCM-2 値と記す）、F-1K による測定値の 3 種類の値を調査した。なお PCM 法の 10 分間の定量下限値は 0.03 f/cm^3 であるが、本測定においては、計数視野を 100 視野とすることで定量下限値を 0.02 f/cm^3 とした。

測定で使用した機器等を記した測定概要を表 1 に示す。また、作業場 1 及び作業場 2、作業場 3 の単位作業場所の概略図を、図 1 及び図 2、図 3 にそれぞれ示す。なお各作業場の概略図において、丸数字は測定点を示している。

表 1 測定概要

使用機器	ディスポーザブルサンプラーおよび吸引ポンプ MP-Σ500（流量 2L/min）、F-1K（流量 2L/min）
測定点数および測定時間	作業場 1 : 5 点、各 30min 作業場 2 : 6 点、各 30min 作業場 3 : 5 点、各 10min

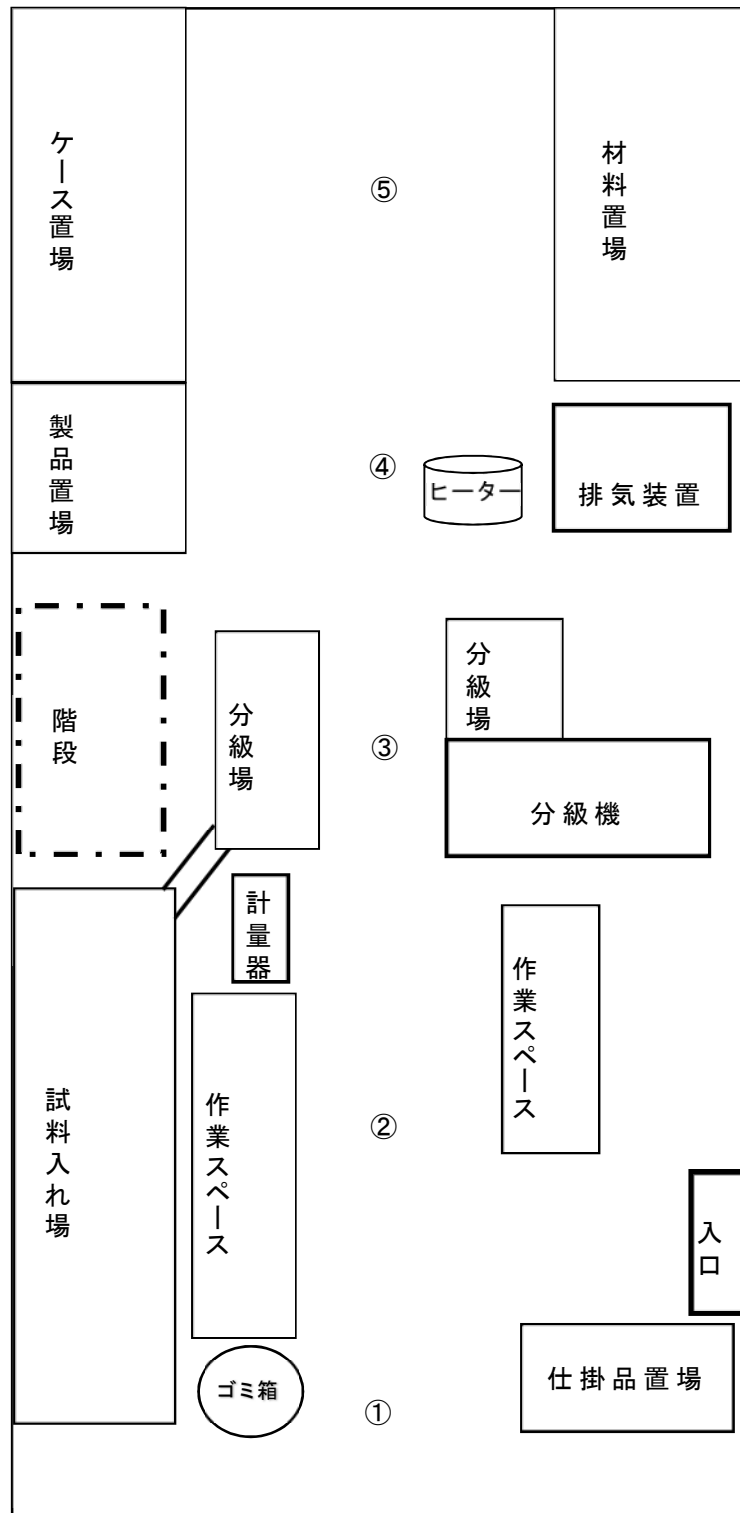


図 1 作業場 1 の概略図及び測定点

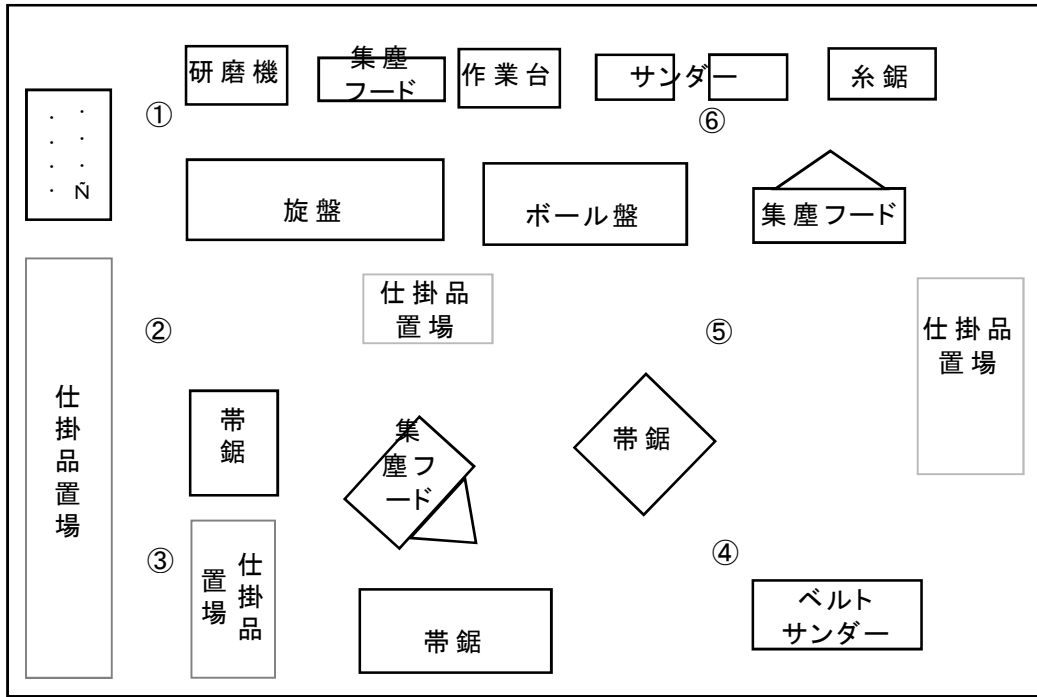


図 2 作業場 2 の概略図及び測定点

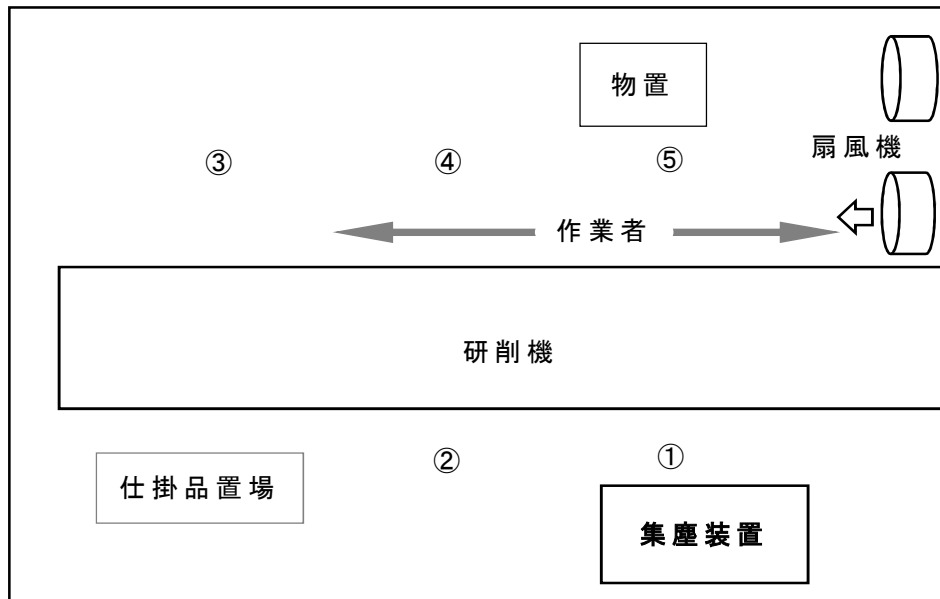


図 3 作業場 3 の概略図及び測定点

2.3 測定結果

2.3.1 繊維数濃度変換係数 F 値について

繊維数濃度変換係数を求めるための併行測定は本来、単位作業場所内で各測定点とは別に併行測定点をあらためて設定して行うべきであるが、今回は、各測定点で併行測定を行った結果から PCM-1 値と F-1K の測定値とが近い測定点を、繊維数濃度変換係数 F 値を求める測定点として選定した。今回の測定では以下の 2 通りの方法で F 値を求めた。

方法 1 : PCM-1 値 (ディスポーザブルサンプラーによる捕集試料から PCM 法で求めた繊維数濃度の測定値) と、F-1K の測定値とから下記の(1)式を用いて F 値を求めた。

$$F \text{ 値} = [\text{PCM-1 値}] / [\text{F-1K の測定値}] \quad \dots(1)$$

方法 2 : 方法 1 と同じ測定点における、PCM-2 値 (F-1K 内部のバックアップフィルターによる捕集試料から PCM 法で求めた繊維数濃度の測定値) と、F-1K による計数值とから下記の(2)式を用いて F 値を求めた。

$$F \text{ 値} = [\text{PCM-2 値}] / [\text{F-1K の測定値}] \quad \dots(2)$$

2.3.2 作業場 1 における測定結果

作業場 1 において PCM-1 値と F-1K の測定値とが近い測定点として、測定点 3 (PCM-1 値 1.68 f/cm³、F-1K 2.16 f/cm³) 及び測定点 5 (PCM-1 値 0.22 f/cm³、F-1K 0.21 f/cm³) を選定した。方法 1 による F 値は下記の通りであった。

測定点 3 における F 値 (方法 1) は、 $F = 0.78 (= 1.68 / 2.16)$

測定点 5 における F 値 (方法 1) は、 $F = 1.05 (= 0.22 / 0.21)$

また方法 2 による F 値について、測定点 3 の PCM-2 値は 1.03 f/cm³、測定点 5 の PCM-2 値が 0.18 f/cm³であったので、各測定点における F 値は下記の通りだった。

測定点 3 における F 値 (方法 2) は、 $F = 0.48 (= 1.03 / 2.16)$

測定点 5 における F 値 (方法 2) は、 $F = 0.86 (= 0.18 / 0.21)$

作業場 1 の各測定点における PCM-1 値と F-1K 測定値、方法 1 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果を、単位作業場所における幾何平均 M、幾何標準偏差 σ (1 日測定) などの評価結果とともに表 2 に示す。また、PCM-2 値と F-1K 測定値、さらに方法 2 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果についても同様に、表 3 に示す。

表 2 作業場 1 における測定結果と F 値(方法 1)による変換前後の値 (f/cm^3)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 3	F-1K F 値:測定点 5
測定点 1	1.33	2.00	1.56	2.10
測定点 2	0.76	1.32	1.03	1.39
測定点 3	1.68	2.16	1.68	2.27
測定点 4	1.94	3.07	2.39	3.22
測定点 5	0.22	0.21	0.16	0.22
幾何平均 M	0.94	1.30	1.01	1.36
幾何標準偏差 σ (1 日測定)	3.0	3.5	3.5	3.5
第一評価値 E_{A1}	5.84	10.2	8.02	10.73
第二評価値 E_{A2}	1.74	2.85	2.23	2.99
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 3	第 3	第 3	第 3

表 3 作業場 1 における測定結果と F 値(方法 2)による変換前後の値 (f/cm^3)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 3	F-1K F 値:測定点 5
測定点 1	1.33	2.00	0.96	1.72
測定点 2	0.76	1.32	0.63	1.14
測定点 3	1.68	2.16	1.04	1.86
測定点 4	1.94	3.07	1.47	2.64
測定点 5	0.22	0.21	0.10	0.18
幾何平均 M	0.94	1.30	0.62	1.12
幾何標準偏差 σ (1 日測定)	3.0	3.5	3.5	3.5
第一評価値 E_{A1}	5.84	10.2	4.91	8.80
第二評価値 E_{A2}	1.74	2.85	1.37	2.45
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 3	第 3	第 3	第 3

まず、いずれの測定値 (PCM-1 値、PCM-2 値、F-1K 測定値、F-1K の F 値変換後の値) においても、作業環境評価の結果として管理区分については同等の結果が得られた。ただし管理区分の決定に直接関わる第一評価値 E_{A1} および第二評価値 E_{A2} については、方法 1 では測定点 3 における F 値の場合、方法 2 では測定点 3 および測定点 5 における F 値の場合に、F 値を乗じることによって F-1K 測定値は PCM-1 値、PCM-2 値にさらに近づいていた。

2.3.2 作業場 2 における測定結果

繊維数濃度変換係数 F 値については、作業場 2 において PCM-1 値と F-1K の測定値とが近い測定点として、測定点 4 (PCM-1 値 0.14 f/cm³、F-1K 0.13 f/cm³) 及び測定点 5 (PCM-1 値 0.10 f/cm³、F-1K 0.10 f/cm³) を選定した。方法 1 による F 値は(1)式より下記の通りであった。

測定点 4 における F 値は、 $F = 1.08 (= 0.14 / 0.13)$

測定点 5 における F 値は、 $F = 1.00 (= 0.10 / 0.10)$

また方法 2 による F 値について、測定点 4 の PCM-2 値は 0.12 f/cm³、測定点 5 の PCM-2 値は 0.09 f/cm³であったので、各測定点の F 値は(2)式より下記の通りだった。

測定点 4 における F 値は、 $F = 0.92 (= 0.12 / 0.13)$

測定点 5 における F 値は、 $F = 0.90 (= 0.09 / 0.10)$

作業場 2 の各測定点における PCM-1 値と F-1K 測定値、方法 1 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果を、単位作業場所における幾何平均 M、幾何標準偏差 σ (1 日測定) などの評価結果とともに表 4 に示す。また、PCM-2 値と F-1K 測定値、方法 2 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果についても同様に、表 5 に示す。

表 4 作業場 2 における測定結果と F 値(方法 1)による変換前後の値 (f/cm³)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 4	F-1K F 値:測定点 5
測定点 1	0.15	0.16	0.17	0.16
測定点 2	0.12	0.08	0.09	0.08
測定点 3	0.09	0.10	0.11	0.10
測定点 4	0.14	0.13	0.14	0.13
測定点 5	0.10	0.10	0.11	0.10
測定点 6	0.11	0.17	0.18	0.17
幾何平均 M	0.11	0.11	0.12	0.11
幾何標準偏差 σ (1 日測定)	2.0	2.1	2.1	2.1
第一評価値 E _{A1}	0.34	0.37	0.40	0.37
第二評価値 E _{A2}	0.14	0.15	0.16	0.15
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 2	第 2	第 2	第 2

表 5 作業場 2 における測定結果と F 値(方法 2)による変換前後の値 (f/cm³)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 4	F-1K F 値:測定点 5
測定点 1	0.15	0.16	0.15	0.14
測定点 2	0.12	0.08	0.07	0.07
測定点 3	0.09	0.10	0.09	0.09
測定点 4	0.14	0.13	0.12	0.12
測定点 5	0.10	0.10	0.09	0.09
測定点 6	0.11	0.17	0.16	0.15
幾何平均 M	0.11	0.11	0.10	0.10
幾何標準偏差 σ (1 日測定)	2.0	2.1	2.1	2.1
第一評価値 E_{A1}	0.34	0.37	0.34	0.33
第二評価値 E_{A2}	0.14	0.15	0.13	0.13
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 2	第 2	第 2	第 2

いずれの測定値 (PCM-1 値、PCM-2 値、F-1K 測定値、F-1K の F 値変換後の値) においても、作業環境評価の結果として管理区分については同等の結果が得られた。ただし管理区分の決定に直接関わる第一評価値 E_{A1} および第二評価値 E_{A2} については、F 値を乗じることによって F-1K 測定値はほとんど変わらないか、PCM-1 値、PCM-2 値にさらに近づいた場合が多かった。

2.3.3 作業場 3 における測定結果

繊維数濃度変換係数 F 値については、作業場 3 において PCM-1 値と F-1K の測定値とが近い測定点として、測定点 1 (PCM-1 値 0.03 f/cm³、F-1K 0.020 f/cm³) 及び測定点 2 (PCM-1 値 0.03 f/cm³、F-1K 0.027 f/cm³) を選定した。方法 1 による F 値は下記の通りであった。

測定点 1 における F 値は、 $F = 1.50 (= 0.03 / 0.020)$

測定点 2 における F 値は、 $F = 1.11 (= 0.03 / 0.027)$

また方法 2 による F 値について、測定点 1 の PCM-2 値は 0.03 f/cm³、測定点 2 の PCM-2 値は 0.02 f/cm³であったので、(2)式より各測定点の F 値は下記の通りである。

測定点 1 における F 値は、 $F = 1.50 (= 0.03 / 0.020)$

測定点 2 における F 値は、 $F = 0.74 (= 0.02 / 0.027)$

作業場 3 の各測定点における PCM-1 値と F-1K 測定値、方法 1 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果を、単位作業場所における幾何

平均 M、幾何標準偏差 σ (1日測定) などの評価結果とともに表 6 に示す。また、PCM-2 値と F-1K 測定値、方法 2 による繊維数濃度変換係数 F 値を F-1K 測定値に乗じた結果についても同様に、表 7 に示す。

表 6 作業場 3 における測定結果と F 値(方法 1)による変換前後の値 (f/cm^3)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 1	F-1K F 値:測定点 2
測定点 1	0.03	0.020	0.030	0.022
測定点 2	0.03	0.027	0.041	0.030
測定点 3	0.05	0.094	0.141	0.104
測定点 4	0.02	0.047	0.071	0.052
測定点 5	0.03	0.016	0.024	0.018
幾何平均 M	0.03	0.033	0.049	0.036
幾何標準偏差 σ (1日測定)	2.1	2.7	2.7	2.7
第一評価値 E_{A1}	0.10	0.164	0.246	0.182
第二評価値 E_{A2}	0.04	0.053	0.079	0.059
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 1	第 1	第 1	第 1

表 7 作業場 3 における測定結果と F 値(方法 2)による変換前後の値 (f/cm^3)

測定点	ディスポーザブル サンプラー(PCM-1 値)	F-1K (変換前)	F-1K F 値:測定点 1	F-1K F 値:測定点 2
測定点 1	0.03	0.020	0.030	0.015
測定点 2	0.03	0.027	0.041	0.020
測定点 3	0.05	0.094	0.141	0.070
測定点 4	0.02	0.047	0.071	0.035
測定点 5	0.03	0.016	0.024	0.012
幾何平均 M	0.03	0.033	0.049	0.024
幾何標準偏差 σ (1日測定)	2.1	2.7	2.7	2.7
第一評価値 E_{A1}	0.10	0.164	0.246	0.121
第二評価値 E_{A2}	0.04	0.053	0.079	0.039
管理濃度 E	0.30	0.30	0.30	0.30
管理区分	第 1	第 1	第 1	第 1

まず、いずれの測定値 (PCM-1 値、PCM-2 値、F-1K 測定値、F-1K の F 値変換後の値) においても、作業環境評価の結果として管理区分については同等の結果が得られた。低濃度に良好に管理された作業場であったため、各測定値の差も小さい結果が得られたと考えられる。

2.4 考察

実験室において F-1K の測定値は従来の PCM 法による測定値と良い相関を有するが、F-1K を現場管理に適用するには、実際の作業現場に浮遊する様々な RCF に対応する必要がある。ただし作業環境測定における層別化により、同じ単位作業場所内ではほぼ同様の RCF が浮遊していることが多いと考えられる。

今回、RCF を取扱う作業場において、F-1K が 1 台しか使用できないため単位作業場所に併行測定点を設定した測定を行わず、A 測定の測定点を仮の併行測定点と仮定して測定を行った。F-1K と従来の PCM 法とによる A 測定及び A 測定の各測定点において F-1K 内部のバックアップフィルターを各測定毎に取り替えて測定を実施した。

併行測定点と仮定した測定点の PCM-1 の値と F-1K の値より求めた方式 1 の F 値と F-1K 内部のバックアップフィルターから PCM 法で求めた値と F-1K の値より求めた方式 2 の F 値の 2 種類について検討した結果、何れの方式でも繊維数濃度変換係数 F 値を求めて F-1K の測定値を変換した結果、繊維数濃度変換係数 F 値を求める測定点の選定によって、F-1K の測定値よりも従来の PCM 法による値に近づき、精度の良い作業環境評価を実現することができた。F-1K の様なファイバーエアゾルモニター (FAM) の繊維数濃度変換係数 F 値は、一般的に併行測定点を測定対象の単位作業場所のどの位置に設定するかに依存する。そのため、併行測定点は、単位測定場所の作業状況、風向及び風速などの環境条件を把握して決めなければならない。併行測定点が、単位作業場所を代表出来る測定点に設定できれば繊維数濃度変換係数 F 値を用いて補正したファイバーエアゾルモニターによる測定方法は、PCM 法と同等な測定が可能と考える。これは、粉じん濃度測定の際に相対濃度計の質量濃度変換係数 K 値を用いて粉じん濃度を求める現状の測定法と同様である。

3. ファイバーエアゾルモニター (FAM) を用いる PCM 測定法について

FAM による測定手順を下記に示す。

- 1) RCF 取り扱い作業場で、作業者の行動範囲と RCF の分布状況とから、作業環境評価の単位となる単位作業場所の範囲を決める。
- 2) 単位作業場所に 5 点以上の測定点を作業環境測定基準に従って決める。
さらに、作業環境の作業状況、風向及び風速などを把握してオープンフェース型ホルダーを用いる PCM 法と FAM による併行測定を行う併行測定点

を決める。

3) 決められた各測定点において、10分以上の継続した時間でFAMを用いてA測定を行う。

4) PCM法とFAMの併行測定を行う方法には、FAMを2台用いる場合と1台用いる場合の2種類の方法がある。

(1) 2台のFAMを用いて併行測定を行う場合

2台のFAMのうち1台はA測定に、1台は併行測定に使用する。併行測定を行う時間は、A測定の開始から終了までとする。ただし、測定前にこれら2台のFAMの器差を求めておき、測定終了後にこの器差を用いて測定値の補正を行う。

(2) 1台のFAMを用いて併行測定を行う場合

1台のFAMをA測定と併行測定に用いる。併行測定を行う時間帯はA測定を行う時間帯に隣接する前後の時間帯とする。また併行測定を行う時間の長さは、A測定を行う時間と同程度が望ましい。

5) PCM法とFAMの併行測定から繊維数濃度変換係数F値を求める方法には、オープンフェース型ホルダーとFAMを用いて併行測定を行い、オープンフェース型ホルダー内のフィルターによって捕集された、RCFの繊維数濃度値をPCM法で求めた値と、FAMによる計数値からF値を求める方法1と、FAMだけを用いて併行測定を行い、FAMのバックアップフィルターによって捕集された、RCFの繊維数濃度値をPCM法で求めた値と、FAMによる計数値からF値を求める方法2の2種類がある。何れの方法で求めても良い。方法2でF値を求める場合は、併行測定時にオープンフェース型ホルダーは不要である。

$$\text{方法1 F 値} = \frac{\text{オープンフェース型ホルダー内のフィルターからPCM法で求めた繊維数濃度値}}{\text{FAMによる計数値}}$$

$$\text{方法2 F 値} = \frac{\text{FAMのバックアップフィルターから求めた繊維数濃度値}}{\text{FAMによる計数値}}$$

6) FAMを用いた作業環境測定による作業環境の評価法

FAMを用いて行ったA測定の各測定点の値を、方法1及び方法2のいづ

れかの方法で求めた F 値によって補正してから、幾何平均 M 及び幾何標準偏差 σ を算出して評価を行う。

その場合、PCM 法で求める繊維数濃度値は、捕集フィルターの処理段階によって値が異なる。つまり、捕集フィルターをアセトンで透明化処理したときの濃度は、総繊維数濃度となる。次に、プラズマリアクターを用いて処理したときの濃度は、無機繊維数濃度となる。さらに、分散染色法によって求めた濃度は、RCF そのものの濃度となる。

測定対象作業環境の評価の流れを図 1 に示す。

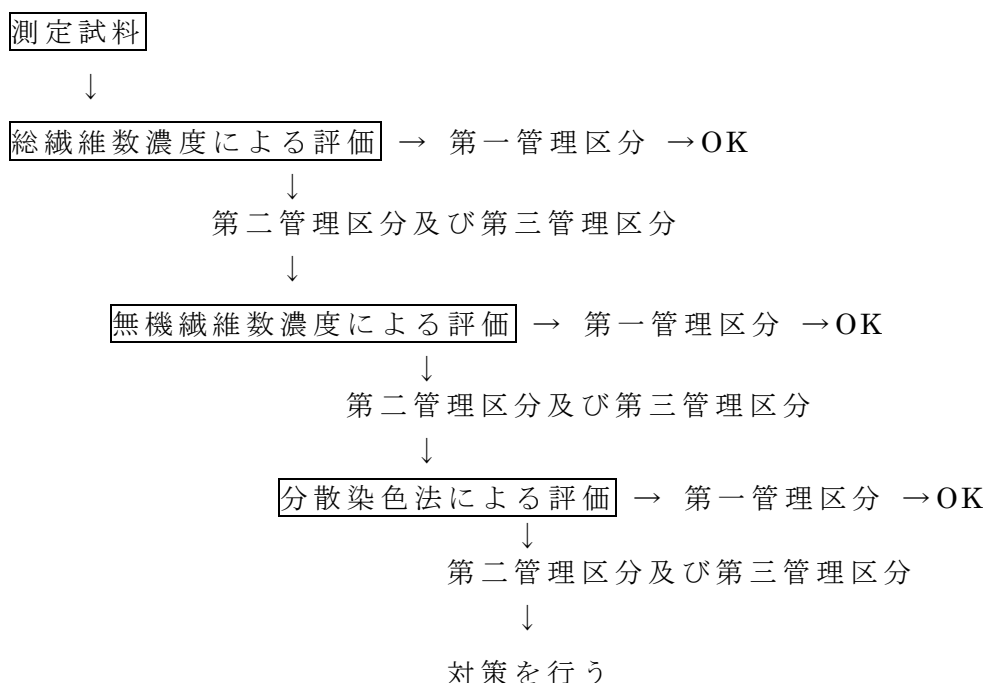


図 1 測定対象作業環境の評価の流れ

4. 総括

RCF 取り扱い作業現場において、F-1K は PCM 法とほぼ同等の精度で測定可能と考えられるが、RCF 取り扱い現場によっては必ずしもこれが当てはまらない可能性もある。その対策として、F-1K の測定値とバックアップフィルターの計数結果とから繊維数濃度変換係数 (F 値) を求め、F-1K の測定値を変換した結果を検討したところ、適切な測定点における測定値を用いて繊維数濃度変換係数 (F 値) を求めることにより、相対濃度計による質量濃度変換係数 K 値

を用いた粉じん測定と同様に、従来の PCM 法と同等な RCF 測定が可能と考えられる。