

200733022A

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等への
新測定法の提案に関する研究

平成19年度 総括研究報告書

主任研究者 名古屋俊士

平成20年(2008)年4月

目 次

I. 総括研究報告	
隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等への 新測定法の提案に関する研究	1
名古屋俊士	
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	19

厚生労働科学研究費補助金（労働安全総合 研究事業）
（総括） 研究報告

隧道等建設工事の現行測定法の検証とアーク溶接等への 新測定法の提案に関する研究

研究者 名古屋俊士 早稲田大学理工学術院 教授

研究要旨

現在、粉じん則、有機則、ガイドライン等で測定が実施されている作業環境の内、作業形態と作業環境測定法の間で妥当性を検証する必要がある作業環境が存在する。その代表が、隧道建設工事現場である。現行の隧道工事現場は、隧道等建設工事ガイドラインの施行以来著しく環境が改善されている。ガイドラインは、当時の技術レベル等を考慮して作成された換気能力の確認のための測定法である。環境改善された現状において、再度隧道建設現場における粉じん濃度測定を実施し、測定位置 50m の検証、粉じん濃度目標レベル $3 \text{ mg} / \text{m}^3$ の改正の必要性等を検証する。さらに、現行のガイドラインは、換気装置の性能確認のための測定であるが、作業者の粉じん曝露濃度対策まで拡大し運用できるのか、さらに、新たな測定法を導入する必要があるか等検証結果をふまえて将来を見据えた提言を行う。

アーク溶接作業の場合、作業者への曝露防止対策は進みつつあるが、測定法及びその評価法が確立していないことが、長い年月の間粉じん障害防止総合対策の重点項目になっている原因の一つと考えられる。そのため、溶接現場における粉じん濃度測定を実施し早急な測定法及び評価法を提言する。

管理濃度の改正により従来より低濃度域における測定が求められ、直接捕集—吸光度法と言った従来の測定法に変わる固体捕集—溶媒脱着— GC/FID 法が用いられ事が多くなる状況にある。その際、脱着溶媒に有害要因を多く含んでいる二硫化炭素が広く用いられているため、それに代わる分析法の確立が緊急の課題である。近年、吸着剤を加熱することで、捕集した物質を脱着するという加熱脱着装置が開発され、有害な二硫化炭素等を用いずに有機溶剤の分析を行うことができると期待される。また、現在、管理濃度検討委員会で管理濃度を検討している中で、現行法では改定管理濃度を測定できないことから、早急な対応が必要な二硫化炭素に対して活性炭管—加熱脱着— GC/FID 法による定量法について検討を行った。

以上、隧道等建設工事に伴う現行ガイドラインの検証結果、アーク溶接作業に関する新たな測定法の提案及び活性炭管—加熱脱着— GC/FID 法の実用性について検討した結果について報告する。

A. 研究目的

研究の目的は、粉じん則、有機則、ガイドライン等で測定が実施されている作業環境の内、法令等施

行当時と作業内容の変化及び技術等の向上により現状との間で、若干妥当性を検証しておく必要のある作業環境が存在する。そうした作業環境の代表として、早急な対応が必要な作業環境が、隧道建設工事現場とアーク溶接作業現場である。隧道等建設工事に関しては、隧道等建設工事ガイドラインが施行され著しく環境が改善され、良好になっているが、改善された状況下で現行の隧道等建設ガイドラインの有効性の確認と新たな追加事項の必要性について早急に検証し、提言することを目的にしている。また、アーク溶接作業は、現状の作業環境の状況を把握するための測定法及び評価法が確立されていないことが、アーク溶接作業の対策が遅れている原因の一つと考える。そこで、アーク溶接現場における測定を実施し、早急に測定法及び評価法を提言するとともに、対策法等についても提示することを目的にしている。こうした提言により、第6次粉じん障害防止総合対策の重点項目になっいる隧道建設工事及びアーク溶接作業の作業環境が適正に評価され、その評価の結果に応じた対策により、そうした作業環境に従事している作業者の粉じん曝露の低減化に寄与することが大いに期待できる。また、管理濃度の改正により従来より低濃度域における測定が求められ、固体捕集—溶媒脱着—GC/FID法が用いられ事が多くなる状況にある。その際、脱着溶媒に有害要因を多く含んでいる二硫化炭素が広く用いられているため、それに代わる分析法の確立が緊急の課題である。そこで、作業環境測定に広く用いられてきた活性炭を加熱脱着法に適応させることの可能性について検証を試みた。また、現在、管理濃度検討委員会で管理濃度を検討している中で、早急な対応が必要な二硫化炭素の加熱脱着分析についても併せて検討を行った。

B. 研究方法

1 隧道等建設現場におけるガイドライン法の検証

1. 1 はじめに

本研究の目的は、「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」に基づいてトンネル建設現場で実施されている粉じん濃度測定に関して、再度ガイドラインにしたがった粉じん濃度測定を実施し、ガイドラインにおける粉じん濃度測定法の検証及び個人曝露濃度測定法等について検討することである。具体的な検証・検討項目としては、以下に示す事項である。

(1)測定位置 50m の検証

(2)粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ の改正の検証

(3)質量濃度変換係数の検討

(4)エアラインマスクの装着の是非

(5)個人曝露濃度測定の検討

(1)では、切羽から 50m 程度離れた位置による粉じん濃度測定がガイドラインにより決められているが、50m よりも 30m の方が粉じん濃度が高いかどうか、また、その測定結果にともない測定位置を 50m よりも切羽に近い 30m の位置にすべきかどうかの検証を行った。

(2)では、現在のトンネル建設工事現場環境が著しく改善しているものの、トンネル建設工事に携わった労働者のじん肺新規有所見者の割合が高いことから、現行ガイドラインに規定されている粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ の規制を強化すべきかどうかの検証を行った。また、中小断面のトンネル建設工事現場では、作業スペースが狭いために集塵機や換気設備等の設置が規制されてしまい、粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ の達成が困難であるという状況を踏まえて、粉じん濃度目標レベルの検討を行った。

(3)では、現行のガイドラインにおけるレーザー粉じん計の質量濃度変換係数が 0.003 となっているが、そうすると、デジタル粉じん計との測定結果に大きな差を生じてしまう現状を踏まえ、デジタル粉じん計 P-5H2 及びレーザー粉じん計の質量

濃度変換係数の値を変更する必要があるかどうかの検討を行った。

(4)防じんマスクに変わるマスクとして、エアラインマスクの装着の可能性について、吹き付け作業者にエアラインマスクを装着し、作業性等を検証し、装着の可否を判断する。

(5)では、現行のガイドラインが換気装置等による作業環境管理がなされているかどうか評価するための測定であるが、作業者の粉じん曝露濃度対策まで拡大し運用できるのかどうか、さらに、個人曝露濃度測定の導入が必要かどうかについて検討を行った。

1. 2 粉じん濃度測定結果からの検証

1.2.1 測定対象トンネルと測定点について

1) 測定対象のトンネル

トンネルA(自動車トンネル、全断面積 70 m²)、トンネルB(新幹線トンネル、上半断面積 40 m²)、トンネルC(自動車トンネルの避難坑、全断面積 20 m²)及びトンネルD(自動車トンネル、上半断面積 100 m²)、の4トンネルである。

2) 測定点の概要

トンネル建設工事現場における測定概略図を図1に示す。

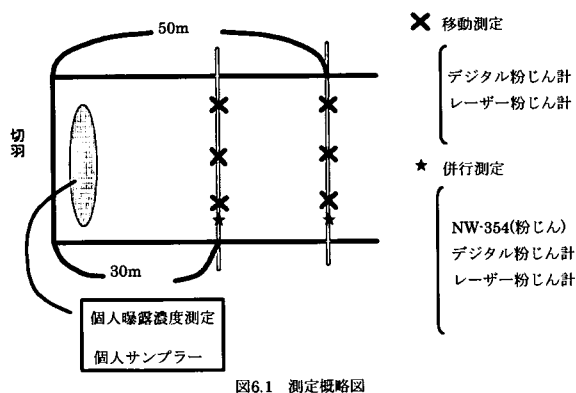


図6.1 測定概略図

図1 測定点の概略図

移動測定に関しては、「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」に規定された粉じん濃度測定方法にしたがって、切羽から坑口へ向かって 50m 及び 30m 離れた位置における粉じん濃度測定を同時刻に行った。また、作業

者に対しては、個人サンプラー NWPS-254 を装着してもらうことで作業中の曝露濃度を測定した。併行測定は、風管の位置に関係なく、切羽から坑口へ向かって 30m 及び 50m 離れた位置に測定機器を設置して行った。

1.2.2 現行の切羽から 50 m地点における測定点の変更の可能性に関する検証

切羽から 30m 及び 50m の各測定点に於ける粉じん濃度測定結果の内、2次吹き作業時の結果を表1に、ずり積み作業時の結果を表2に示す。

表1より、2次吹き作業時のAトンネル、Bトンネル及びCトンネルの一部（レーザー粉じん計以外）の30m地点と50m地点における粉じん濃度は、50m地点に於ける粉じん濃度が高い値を示した。Dトンネルにおいては、30m地点が50m地点に比べて高い濃度を示した。また、表2より、ずり積み作業は、トンネルAの場合30m地点に比べて50m地点における粉じん濃度が高い値を示した。トンネルBとトンネルDでは、50m地点に比べて切羽に近い30m地点における粉じん濃度が高い値を示した。現時点において、切羽から近い30m地点が必ずしも50m地点より粉じん濃度が高いとは言えない。つまり、各トンネルとも吹き出し換気方式のため、吹き出し風管の位置が、切羽からどのくらいの距離にあるか？また、風管が断面のどの部分に取り付けられているかも重要な要因となる。

そのため、各トンネルにより、30mでの粉じん濃度と50mでの粉じん濃度に相違が生じるのであって、切羽に近いからと言って粉じん濃度が高い訳ではない事が明らかとなった。また、図2に見られるように、30m地点での測定では、重機による運搬の障害になるばかりでなく、測定者自身の安全性に問題がある。また、トンネルB及びトンネルDにおいては、作業者の安全を考えて、ずり積み作業時の粉じん濃度測定を行わないことにしている。今回は、特別な許可を得て測定を実施した。また、参考のため、50m地点に於ける粉じん濃度測定状況を図3に示す。

以上のことから、現時点では、測定位置を 50 m から 30 m に変更する確たる理由が認められなかった。

表 1 2次吹き時の各測定点に於ける粉じん濃度 (mg / m³) の平均値

作業場	測定機器	30mにおける粉じん濃度	50mにおける粉じん濃度
A	P-5H	3.04	2.39
	LD-1H	7.74	7.73
	LD-3K2	7.19	7.84
B	P-5H	4.07	4.50
	LD-1H	-----	-----
	LD-3K2	11.44	12.31
C	P-5H	4.71	4.78
	LD-1H	13.45	11.81
	LD-3K2	12.97	12.05
D	P-5H	1.97	0.45
	LD-1H	3.24	0.60
	LD-3K2	2.88	0.70

注：平均値：3回の測定の平均値

表 2 ずり積み時の各測定点に於ける粉じん濃度 (mg / m³) の平均値

作業場	測定機器	30mにおける粉じん濃度	50mにおける粉じん濃度
A	P-5H	0.22	0.31
	LD-1H	0.55	0.66
	LD-3K2	0.55	0.64
C	P-5H	0.61	0.61
	LD-1H	1.83	1.66
	LD-3K2	1.76	1.71
D	P-5H	2.87	0.49
	LD-1H	5.69	0.62
	LD-3K2	5.24	0.71

注：平均値：3回の測定の平均値

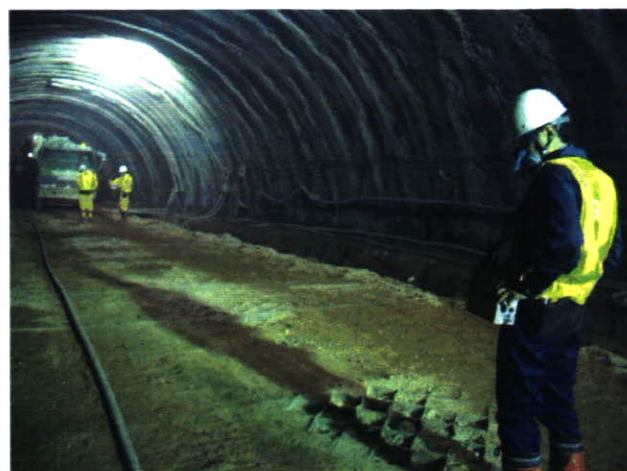


図 3 50 m地点に於ける粉じん濃度測定状況

1.2.3 現時点における粉じん濃度目標レベルの 3.0 (mg / m³) を引き下げる必要性について
トンネル A の断面は 70 m² で、トンネル B の断面は 40 m² である。

(1) 中小断面以外の断面の場合

トンネル A で P-5H 型の相対濃度計で 50 m 地点の濃度をみて見ると、

2次吹き時 2.39 (mg / m³)

ずり積み時 0.31 (mg / m³)

一応、2次吹き作業時においても 3.0 (mg / m³) 以下ではあるが、LD-1H 及び LD-3K2 等仮に K 値が改正され、K = 0.002 になっても約 5.0 (mg / m³) と 3.0 (mg / m³) を超えてしまう。

今回の研究に際して、建災防等の協力を得て複数のトンネル工事現場でのアンケート調査結果を入手した。その結果を図 4 に示す。図 4 より、従来に比べて粉じん濃度目標レベルの 3.0 (mg / m³) を下回るトンネルも多くなってきているが、平均で見ると 3.46 (mg / m³) であり、5.0 (mg / m³) を超えるものが全体の約 15% を占めるとともに、10.0 (mg / m³) を超えるものも見られる。

このため、粉じん濃度目標レベルについては、3.0 (mg / m³) を下げる状況にまで達していないと考える。今後、トンネル工事現場における測定数を増やすことで検証していく必要がある。



図 2 30 m地点に於ける粉じん濃度測定状況

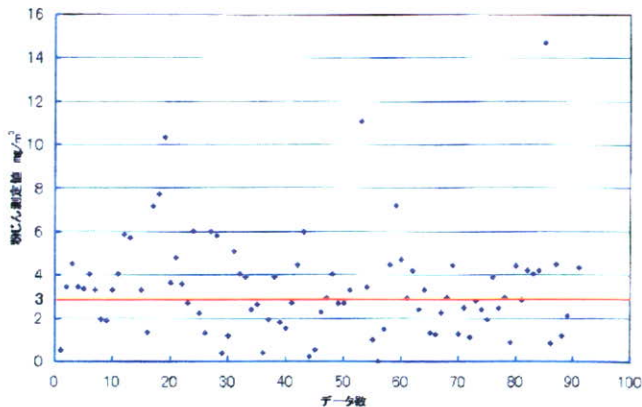


図4 建災防等の協力を得て複数のトンネル
工事現場でのアンケート調査結果

(2) 中小断面のトンネルの場合

トンネル B で P 5 - H 型の相対濃度計で 50 m 地点の濃度をみて見ると、

2次吹き時	4.20 (mg / m ³)
ずり積み時	0.55 (mg / m ³)

2次吹き作業時においても 3.0 (mg / m³) 以上であり、中小断面においては、粉じん濃度目標レベルの 3.0 (mg / m³) を下回る事は、難しい状況にあることが推測される。

中小断面のトンネルでは、粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ を満たすために必要な口径の風管または必要な本数の風管の設置、必要な容量を備えた集じん装置の設置等が施工上困難である。また、粉じん濃度を希釈するために送気風量を増やすと作業性の問題等が生じると考えられるため、粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ を達成することが困難な現場が多いのが現状である。したがって、中小断面に関しては、現行ガイドラインのように可能な限り粉じん濃度目標レベル 3mg/m³ に近い値を粉じん濃度目標レベルと設定することが必要であると考えられる。

今後、さらにトンネルにおける測定数を増やし検証していく必要があるが、水路トンネルなどの中小断面のずい道等のうち、3.0 (mg / m³) を達成するための必要な大きさ(口径)の風管又は必要な本数の風管の設置、必要な容量の集じん装置

の設置等が施工上極めて困難であるものについては、可能な限り 3.0 (mg / m³) に近い値を粉じん濃度目標レベルとして設定することが必要である。

1.2.4 質量濃度変換係数 K 値について

ガイドラインにおける粉じん濃度測定以外に、併行測定による LD 系相対濃度計の質量濃度変換係数の検討を行った。切羽から 50m 地点の併行測定点の概要を図 5 に示す。また、その時の併行測定結果から得られたトンネルに於ける質量濃度変換係数 K 値を表 3 に示す。



図5 併行測定点の概要図

ただし、質量濃度変換係数の検討機種としてデジタル粉じん計(P-5H2)を除外した理由は、平成 10 年に製造が中止され、現在は年 1 回義務付けられている較正は行っているものの、修理が生じた時点で、そのデジタル粉じん計の使用はできないことになっている。また、LD-1 型も平成 7 年に製造が中止されており、デジタル粉じん計と同じ取り扱いになっている。LD-1 型の後継機種は、LD-3K2 で、LD-3K2 の継続機種が LD-5、LD-5D である。そのため、レーザー粉じん計である LD 系相対濃度計について、試料濃度変換計数の検討を行った。

また、測定時の粉じん濃度は慣性衝突式NW-354型ローボリューム・エアサンプラーにて測定を行った結果である。

表3 各トンネルに於ける質量濃度変換係数K値

トンネル	作業内容	測定時の粉じん濃度 (mg/m ³)	LD-1H	LD-2	LD-3K2	LD-5	LD-5D
A	2次吹き	1.40	0.0022		0.0022		
		3.42	0.0025		0.0027		
	ずり積み	0.28	0.0015		0.0015		
		4.26	0.0017		0.0018		
B	掘削～ずり	1.09		0.0021	0.0019	0.0023	0.019
		7.56		0.0020	0.0021	0.0028	0.020
C	ずり積み	7.90		0.0024	0.0036	0.0028	0.021
		0.61			0.0013		
		0.21			0.0013		
D	ずり積み	0.10			0.0014		
		1.00	0.0010	0.0013	0.0011	0.0012	0.012
	2次吹き	9.15	0.0025	0.0030	0.0028	0.0029	0.028
		9.63	0.0019	0.0022	0.0021	0.0023	0.021
平均値			0.0019	0.0022	0.0020	0.0024	0.020

測定値が少なく、今後のデータを増やして議論する必要があるが、LD系相対濃度計のK値が、現行ではK=0.003ある。これは、分粒特性が「5μm、50%cut」の時の設定であり、現在分粒特性が「4μm、50%cut」に変更になったので、それに見合ったK値に変更する必要がある。各測定点における粉じん濃度が、測定に用いる相対濃度計により異なる理由は、現在示されているガイドラインで示されているK値に起因していることが大きいと考えられる。現状、P-5Hは、K=0.004、LD-1H及びLD-3K2は、K=0.003を用いている。

これを、P-5Hは、現状のK=0.004を、LD-1H及びLD-3K2は、先に示したK=0.002に変更する結果を表3に示す。表4より、レーザー粉じん計の質量濃度変換係数K値を変えることで、機差による違いを解消することが出来る。よって、LD系相対濃度計のK値は、「K=0.002」が妥当なように思われる。

表4 K値の変更による粉じん濃度

トンネル	作業工程		LD-1H	LD-3K2	P-5H2
A	2次吹き	K=0.003	7.70	7.84	2.38
		K=0.002	5.13	5.23	
	ずり積み・ずり出し	K=0.003	0.66	0.64	0.31
		K=0.002	0.44	0.43	
B	2次吹き	K=0.003		11.56	4.20
		K=0.002		7.71	
	ずり積み・ずり出し	K=0.003		1.02	0.55
		K=0.002		0.68	
C	ずり積み・ずり出し	K=0.003		0.80	0.31
		K=0.002		0.53	
D	2次吹き	K=0.003	11.81	12.05	4.68
		K=0.002	7.87	8.03	
	ずり積み・ずり出し	K=0.003	1.65	1.71	0.61
		K=0.002	1.10	1.14	

1.2.5 エアラインマスクの着用について

トンネルAにおいて、吹き付け作業員にエアラインマスク(興研株製)を装着して作業して貰い、作業性、作業時の安全性等についてアンケートを行った。エアラインマスクの使用概略図を図6に示す。本来、エアラインマスクの場合、空気を供給するコンプレッサーは、清浄な環境中において使用すべき物である。今回、面体とコンプレッサーをつなぐエアラインを120mまで延ばし、出来るだけ切羽から離れた場所にコンプレッサーを設置した。そのため、エアラインが長く、作業性も悪いし、重機等の運搬道の横を通るため、重機への巻き込みが無いように注意をするなど、ずい道での使用に安全面で問題があると考えられる。また、設置した場所が、切羽に近い場合、清浄な環境への設置とは言えず、本来の目的とは異なる使用法である。

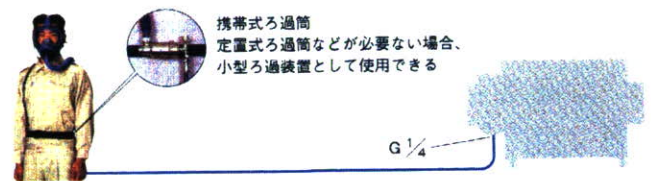


図6 エアラインマスクの使用概略図

アンケートを実施した結果、作業員にとってエアラインマスクの装着は、苦痛以外の何ものでもなく、安全性、使用目的、作業性などいずれの面

から考えても、ずい道建設工事でのエアラインマスクの使用は避けるべきと考える。

1.2.6 個人曝露濃度について

個人曝露濃度測定状況及び個人サンプラーNWPS-254 測定器を装着した状況を図7に示す。また、各トンネルにおける曝露濃度測定結果を表4に示す。

吹付け作業時では、作業内容として「吹付けマン」の作業者の曝露濃度が約 $5\text{mg}/\text{m}^3$ となった。また、それ以外の作業者は $3\text{mg}/\text{m}^3$ を超えない曝露濃度となった。「吹付けマン」の作業者は体を大きく動かすことがあり、個人サンプラーによる曝露濃度測定が正確に行われなことがある。また、「吹付けマン」作業者に「作業時の個人サンプラー装着に関するアンケート」等を実施し、個人サンプラー装着の努力状況を把握しておく必要があると考えられる。以上のように、作業者の協力さえ得られれば、個人サンプラーを用いた作業時の曝露濃度を測定することは大した問題ではない。曝露濃度測定の難しさは、曝露濃度測定にあるのではなく測定した曝露濃度をどのように評価し、濃度対策に結びつけるかということである。



図7 個人サンプラー装着時の様子

曝露濃度測定法は、本来 8 時間の測定結果を用

いて評価する測定である。

曝露濃度は、測定する日によって変動するため、この方法では測定していない日の曝露濃度を超えている危険性を評価することはできない。また、曝露濃度は同一作業場内でも作業者毎に変動するため、理想的には測定されていない他の作業者の曝露濃度が基準値を超える危険性について評価しておく必要がある。そのためには、対象作業者全員に個人サンプラーを装着させて測定する必要がある。

表4 個人サンプラーによる作業者の曝露濃度結果

トンネル	作業工程	作業内容	サンプル時間 (分)	粉じん濃度 (mg/m^3)
A	2次吹き	吹付け補助	70	2.70
	2次吹き	吹付けマン	68	4.02
	2次吹き	吹付け補助	49	2.76
	2次吹き	監督者	51	2.35
	2次吹き	測定者	60	1.20
B	ずり積み～2次吹き	オペレーター	346	0.52
	ずり積み～2次吹き	吹付けマン	344	0.62
	ずり積み～2次吹き	監督者	309	0.28
C	ずり積み・ずり出し	トロッコオペレーター	97	0.12
	ずり積み・ずり出し	測定者	149	0.24
D	1次～2次吹き	吹付けマン	99	5.49
	2次吹き	吹付け補助	62	2.13

曝露濃度は先にも述べたように 8 時間の測定が必要であるが、トンネル建設作業でそれだけ長時間の測定を行うことは難しい状況にある。8 時間の連続測定を行った場合、トンネル建設作業で最も濃度が高い吹付け作業時の曝露濃度が、他の作業時間が長く、吹付け作業時よりも低い粉じん濃度の作業の影響を強く受けて、結果として曝露濃度に反映されないことになる。

このように、曝露濃度をいつ測定し、どのように評価するかを決めて測定しないと、ただ単に、曝露濃度測定をした結果としか残らないことになる。また、曝露濃度を評価するための基準濃度を定めるにあたり、フィルターに捕集された粉じん中の遊離けい酸(石英)含有率を求めておかなけれ

ばならない。遊離けい酸の分析には、測定機関に依頼し、その結果を得て初めて評価値が求まるため、曝露濃度の判断まで 10 数日が必要となり、その間に掘削作業は進行しており、測定結果を作業環境管理に役立てることが難しい状況となる。現状の曝露濃度測定の欠点を補填し、8 時間の連続測定より得られた曝露濃度測定結果を生かす方法としては、NIOSH の推奨する手順¹⁵⁾があるが、それは修士課程の高度な教育を受け、資格を得た専門者が取り扱うことになっており、日本にはその制度がない。

また、日内変動を考慮した短時間曝露濃度の評価を当研究室が開発しているが、ただ、当研究室の評価法は、製造業における評価法であり、トンネル建設作業時の曝露濃度測定に使用できるかどうかについては、今後検討しなければならない。

以上のように、個人曝露濃度測定とその評価法について、今後、評価法の目標を決め、その評価法が現状のトンネル建設作業時の曝露濃度評価法と合うかという観点から検討をする必要があると考える。

1.2.7 発破時の退避時間について

発破掘進によるトンネル建設作業では、発破時の退避時間が問題となっている。各トンネルにより発破退避時間が異なるため、一律に決めることができないので、2008 年 3 月 1 日付けの粉じん則の改正では、粉じん濃度が低くなってから作業を開始するとなっている。そこで、ここでは、その実態把握を行うため、退避時間と粉じん濃度測定を行った、トンネル C では、発破から数分後に作業を開始したので、その時の粉じん濃度測定を行った。この粉じん濃度測定は LD-3K2 のみで行った。表 4 に発破の時刻等を、表 5 に測定番号の詳細を、表 6 に各測定番号における粉塵濃度を示す。

表 4 発破の時刻

時刻	詳細
9:14	発破
9:19	換気(立ち入り禁止)
9:20	切羽付近へ移動
※9:21	38.52mg/m ³ (測定点 A)

※視野が悪く、火薬臭い

表 5 測定番号の詳細

測定番号	測定時刻
⑨	9:26~9:28
⑩	9:30~9:32
⑪	9:37~9:41
※⑫	9:48~9:50

※ ずり積み開始のため重機が進入した

表 6 各測定番号における粉塵濃度

測定番号	⑨	⑩	⑪	⑫
測定点 A	5.41	4.06	3.36	9.52
測定点 B	10.46	5.00	3.94	15.80
測定点 C	7.36	5.16	4.49	11.25
平均粉じん濃度	7.74	4.74	3.93	12.18
	7.15			

表 6 より、このトンネルでは、発破 6 分後では、粉じん濃度が 40mg/m³ 程度となった。やはり、発破により著しく粉じんが発生することが明らかとなった。つまり、このトンネルでは、発破後 10 分程度は換気のために進入するべきではないと判断される。現行ガイドランでは、「発破後は、安全が確認されたのち、粉じん濃度が低減するまで、立ち入らないこと」とされているが、これを強化する必要があると考える。これに関しては、現場管理者に対し、作業者の進入禁止を徹底することが必要であると考ええる。

2 溶接作業環境に於ける粉じん濃度測定からの知見

本研究では、作業環境測定基準に従ったA測定及びB測定を実施した。また、吸入性粉じんの質量濃度の変動が測定可能な改良型 PDS-2 の開発を行ない、現場適応を行なうとともに、測定結果を活用した評価方法についての検討を行なった。

A測定及びB測定は、特にA測定において、溶接作業の現場を正確に評価する方法でないことが明らかになった。また、改良型 PDS-2 を用いた測定の応用として、現在多くの事業所で自主的に行なわれている B 測定への適応や、測定した濃度変動データとビデオ画像との同期システムの確立などを行なうことで、作業者教育や作業環境管理、作業管理への適用に関する有効性を検討した。その結果、以下のような知見が得られた。

2.1 改良型 PDS-2 の開発と性能評価

2.1.1 改良型 PDS-2 開発までの経緯

当研究室で過去に溶接作業現場での A 測定及び B 測定を実施した結果、A 測定の評価では第 1 管理区分になる場合が多く、結局のところ、溶接作業場の評価においては B 測定が支配的であるということが分かった。また、実際の溶接作業現場で B 測定を行う場合、作業の内容によっては、作業者に接近した位置に測定点を設定することが困難な場合があった。これらの結果から、作業環境測定基準に準じた測定は、作業者の溶接ヒュームによる高濃度曝露の実態を反映しにくい測定法であるということが明らかになるとともに、屋外ガイドラインによる曝露濃度測定の有効性が示唆された。

実際の溶接作業現場において測定を行なう際には、いずれの方法を適用するにせよ、測定時間内にヒュームの気中濃度が最大になる瞬間が含まれてなければならないが、ヒュームの発生量は作業内容等によってばらつくことが予想される。そこで当研究室では、吸入性粉じんの質量濃度の時間変動が測定できるように、PDS-2 と NWPS-254 を用いた曝露濃度測定方法を考案した。これは、図

8に示すように作業者の肩に NWPS-254 を胸元に PDS-2 を取り付け、2 台の装置で併行して曝露濃度測定を行うことによって PDS-2 の K 値を求め、これを PDS-2 から得られる相対濃度の時間変動データに掛け合わせることで、質量濃度の時間変動データを得るという方法である。

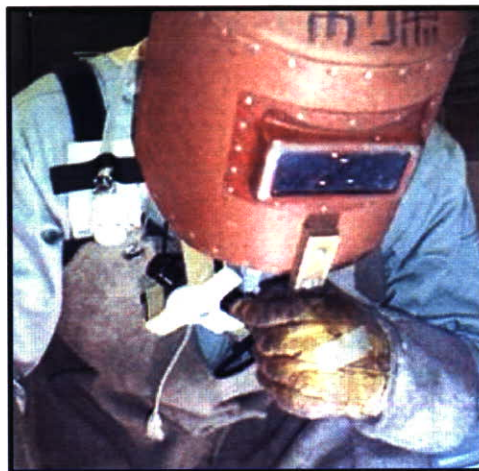


図 8 PDS-2 と NWPS-254 による曝露濃度測定

PDS-2 と NWPS-254 を用いた曝露濃度測定を行なうことによって、より価値のある測定結果を得ることが出来るが、この方法では装置を 2 台使用するため、測定に手間が掛かるとともに測定対象とする作業者への負担も大きい。また、両測定器の吸引口が僅かながら離れているため、厳密に言えば、ヒュームの挙動によって K 値がばらついてしまう恐れがある。この問題を克服するため、本研究では PDS-2 を改良することによって、1 台で質量濃度の時間変動データを得ることを試みた。

2.1.2 改良型 PDS-2 について

改良型 PDS-2 は、現行の PDS-2 のヘッド部分に、NWPS-254 に用いられている PM4 の分粒機構（慣性衝突式）を、検出部の下に 25mm フィルター用のホルダーを備えたものであり、ポンプで吸引（2.5L/min）することでヒューム濃度の時間変動と質量濃度を同時に得ることが可能である。改良型 PDS-2 の概観を図 9 に示す。



図9 改良型PDS-2の概略図

吸入性粉じんの質量濃度と相対濃度が同時に測定できる改良型 PDS-2 を開発し、NWPS-254 との同時併行測定を行なうことで、 $4 \mu\text{m}50\% \text{cut}$ の分粒特性を有しているかどうか確認した。改良型 PDS-2 と NWPS-254 による同時併行測定の結果を図 10 に示す。

ただし、粉じん試料として、以下の3種を用いた。

- ・マグネシウム粉じん
- ・イルミナイト系溶接棒 B-17 (400mm, ϕ 4.0mm, 130A 下向溶接, 株式会社神戸製鋼所製)
- ・低水素系溶接棒 LB-52 (400mm, ϕ 4.0mm, 150A 下向溶接, 株式会社神戸製鋼所製)

同時併行測定の評価方法として、(社)日本作業環境測定協会の精度管理センターによって示されている、質量濃度等価性に関する評価基準を用いた。従って、回帰式の傾きが $0.9 \sim 1.1$ の範囲内にあり、さらに回帰式の y 切片が ± 0.20 以内におさまっていることが条件となる。2種類の機器の間に $1:1$ の相関があり、質量濃度の等価性に関して良好な結果が得られた。3種の粉じん試料による同時併行測定の結果から、今回の結果は、評価基準の範囲内におさまっていることがわかる。また、高濃度の結果をプロットした場合でも、評価基準を満たしていることがわかる。

改良型 PDS-2 と NWPS-254 による同時併行測定の結果、2種類の機器の間に $1:1$ の相関があり、

質量濃度の等価性に関して良好な結果が得られた。また、改良型 PDS-2 から得られる質量濃度と相対濃度の相関性についても、良好な結果が得られた。

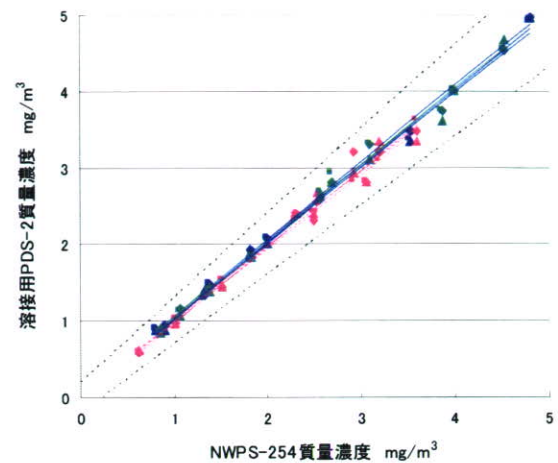


図10 改良型PDS-2とNWPS-254の比較

2.2 改良型 PDS-2 を用いた溶接作業時の粉じん濃度測定法の提案

改良型 PDS-2 を用いた曝露濃度測定の方法を検討するとともに、実際に現場測定を行い、測定結果の評価方法について検討した。

溶接作業者が使用する遮光面の外側の濃度は、平均的に内側の濃度よりも高い値を示しており、今回行なった実験条件においては、内側の濃度に比べておよそ 1.9 倍高という基礎的知見が得られた。作業者の曝露濃度の測定を行なうにあたり、サンプラーの固定位置を検討した結果、作業者の肩の上に固定する方法が最良であると判明した。改良型 PDS-2 から得られたデータを活用することで、より詳細な評価を行なうことが可能であった。改良型 PDS-2 を用いることで、結果として、質量濃度の連続的な濃度変動データが得られるため、データを精査する際には、予め、これと併せて作業者の行動記録をつけておくということが非常に重要な作業だといえる。

2.3 改良型 PDS-2 を用いた粉じん濃度測定の応用

2.3.1 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示した事例

作業内容や作業姿勢、ヒュームの流れ等より多くの情報が把握できるように、溶接作業者をデジタルビデオカメラで撮影し、その画面上に曝露濃度のグラフを同時に表示する手法を考案した。その一例を図 11-1 ～ 11-4 に示す。今回測定を行なった製造ラインでは、約 3 分 20 秒毎に一連の作業が繰り返されており、作業場内は下降流型のプッシュプル型換気装置が稼動していたが、各サイクルにおける濃度レベルには大小が見られた。

濃度変動のグラフと作業風景の画像記録を同画面上に表示させて観察すると、まず、溶接姿勢が下向きの場合と横向きの場合とで曝露する濃度に差があることがわかる。(横向き：図 11-1 及び図 11-3、下向き：図 11-2 及び図 11-4) また、曝露濃度が特に高くなる瞬間を見てみると、作業性を考慮して回転させた車体フレームや、作業者自身によってプッシュプル気流が遮られていることが原因の一つであることが確認できる。

図 11 に示すように粉じん測定と同時に作業状況の撮影を行えば、ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示でき、赤の矢印の移動に従ったビデオとビデオ画面が動くシステムである。このことにより、溶接作業と粉じん濃度変動状況の関係を作業者に示すことにより、防じん対策の確認作業者の意識向上と曝露濃度の低減化に効果を発揮する国内外にない独創的なシステムである。

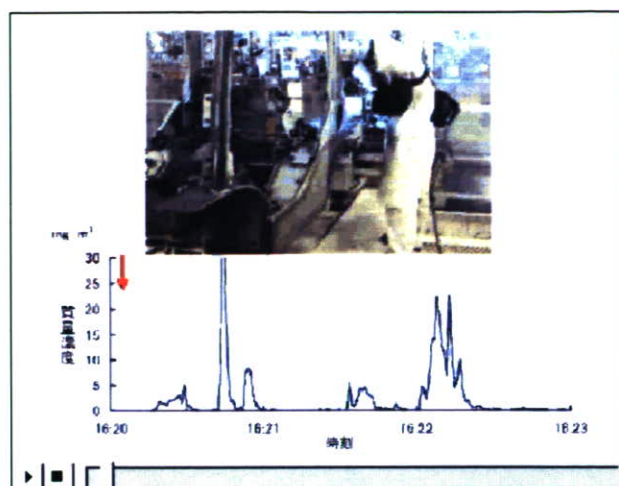


図 11-1 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

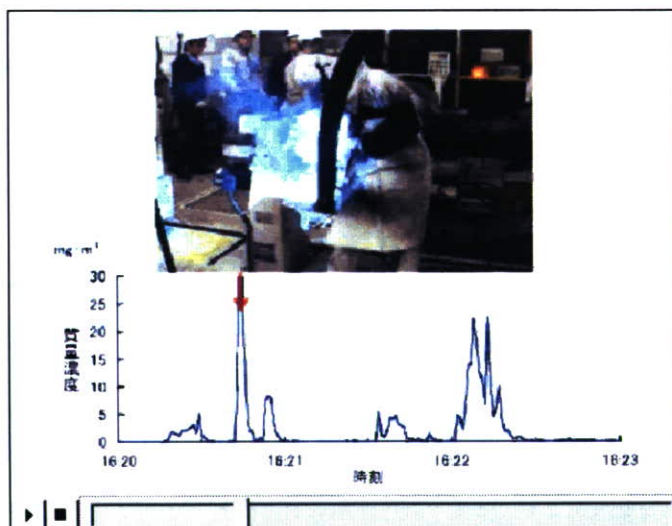


図 11-2 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

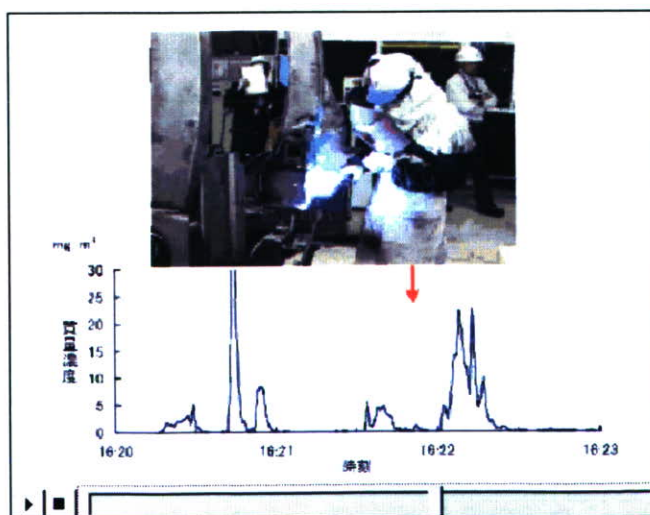


図 11-3 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

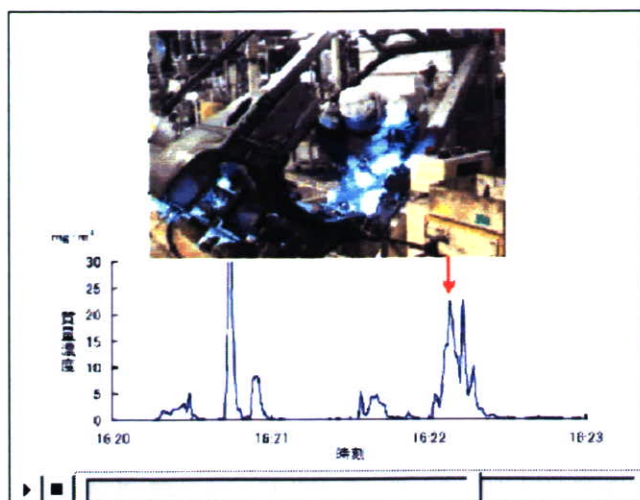


図 11-4 ビデオ画面と粉じん濃度の変動状況を同一画面上に表示例

また、改良型 PDS-2 によるサンプリングデータとビデオ画像を同画面上に表示することによって、同じ測定時間でより多くの情報を得ることが可能となり、作業内容についての記録作業を簡略化することにも繋がった。

この方法を用いることで、作業者に対する有効な教育や、粉じん対策に対する適切な評価を通した、より実効性のある対策の選択を期待することができる。

2.3.2 A測定及びB測定に代わる測定法の提案

これまでは、改良型 PDS-2 を作業者に取り付けることによって『個人サンプラー』という位置づけで使用してきたが、ここでは改良型 PDS-2 を『K 値の求まる相対濃度計』として位置づけ、測定者が直接保持して作業者近傍のヒューム濃度を測定するという方法の適用を試みた。改良型 PDS-2 を測定者が直接保持して、作業者近傍のヒューム濃度を測定するという方法 (B⁺測定) を考案し、屋外ガイドラインによる曝露濃度測定 (C 測定) との比較を行なった。B 測定が、常に現場の状況を正しく評価していない訳ではなく、どれだけ作業環境測定士が作業者の呼吸域まで近づいて測定できるかにかかっている。つまり、溶接作業の場合、溶接フュームの飛散、輻射熱及び紫外線と作業者の動きが作業環境測定士が、近づけな

い現状があるからである。つまり、現在、溶接作業現場で自主的に実施されている B 測定は、図 12 及び図 13 に示すように、デジタル粉じん計やレーザー粉じん計等の相対濃度計を測定者が持ち、作業者に接近した状態で行なうか、測定器を三脚等に固定して、作業者近傍に設置するという方法をとっている。しかし、溶接作業者付近で測定を行なおうとすると、作業の邪魔になるとともに、測定者にも危険が伴う。また、測定者の安全を考慮して測定器を三脚等に固定した場合には、測定器を置く位置によって測定値及び評価が大きく変わってしまうため、作業場の現状を的確に把握できない場合が多い。



図 12 B 測定実施時の外観①



図 13 B 測定実施時の外観②

そこで今回、改良型 PDS-2 の軽量かつ小型である点と、測定によって K 値も求められる点に着目し、図 14 に示すように、伸縮可能なポールの先に改良型 PDS-2 の検出部を固定したものを測定者が操作することで、作業者近傍（呼吸域）のヒューム濃度測定を行なうという、新しい B 測定（B⁺測定）の手法を考案した。

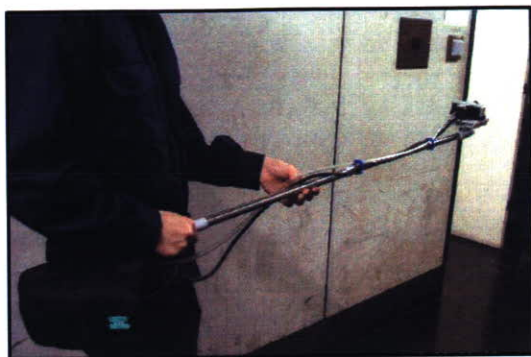


図 14 B⁺測定の外観図

この測定手法を可能にするため、改良型 PDS-2 の検出部とデータ記録部を繋ぐケーブルを、50cm から 200cm に延長する改良を行なった。また、ケーブルを延長することによって、周囲からのノイズを検出してしまふことが予想されたため、延長したケーブル表面にシールドングテープ（銅にすずめっきを施したもの）を巻くことで対策を行なった。

B⁺測定用に改良した検出部の外観を図 15 に示す。また、C 測定の外観図を図 16 に示す。改良型 PDS-2 を作業者の肩に装着して測定するのが C 測定である。



図 15 検出部外観（改良後）

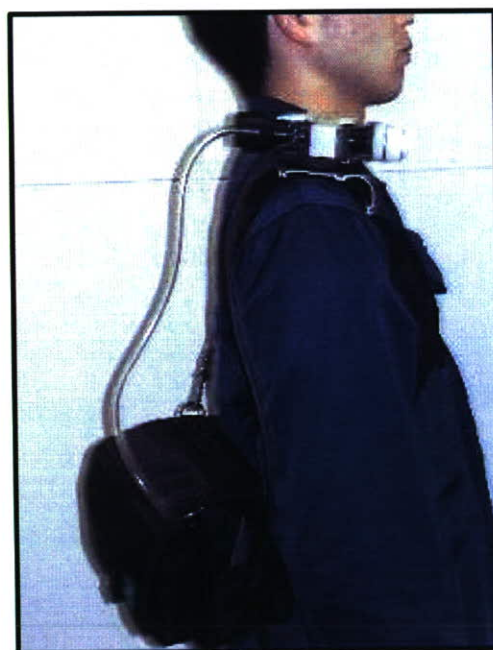


図 16 C 測定の外観図

2.3.3 B⁺測定及びC測定の実験適用試験

各作業場において、選定した作業者に改良型 PDS-2 を取り付けて屋外ガイドラインによる曝露濃度の測定（C 測定）を行い、その測定時間内に同じ作業者に対して B⁺測定を行なうことで B⁺測定と曝露濃度測定の比較を行なった。また、B 測定も同時に実施することで、B⁺測定と B 測定

の比較を行なった。このとき、併行測定は B 測定と同じ地点で実施した。B 測定及び併行測定では、測定機器として LD-3K2 と NW-354 を使用した。

溶接作業現場で C 測定、B⁺測定及び通常の B 測定を行った時の測定状況を図 17 に示す。

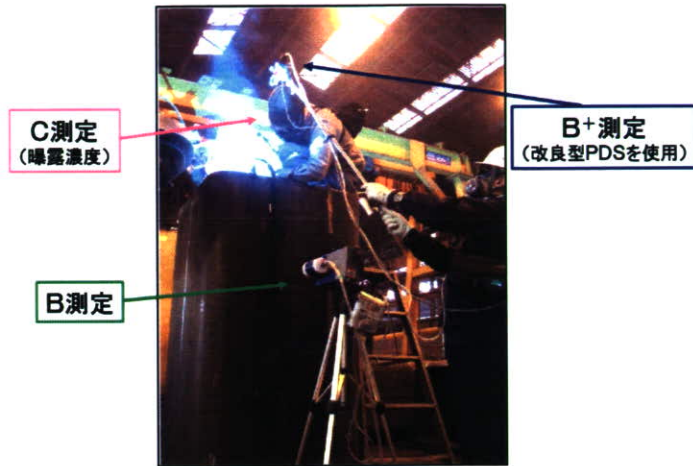


図 17 溶接作業場における各種測定法の比較

図 17 で測定した C 測定、B⁺測定及び通常の B 測定時の粉じん濃度測定結果を図 18 に示す。図 18 より、C 測定及び B⁺測定では、質量濃度に大きな相違は認められなかったが、通常行われている B 測定は、他の 2 測定に比べて著しく低い濃度結果であった。

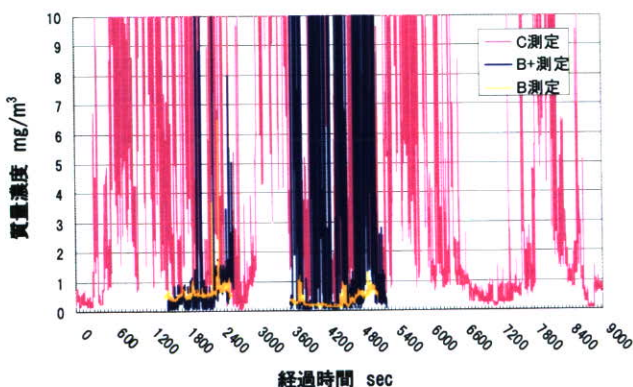


図 18 各種測定法により得られた質量濃度の測定の一例

これは、溶接作業位置が高所にあり、B 測定の

ための粉じん計が、作業者の呼吸領域と著しく離れたためである。それに比べて、B⁺測定は、伸縮棒により溶接作業者の呼吸領域を測定できるために C 測定と同じ様な粉じん濃度を示した。ここに、B⁺測定の有効性を示すことが出来た事例である。

溶接作業場で B⁺測定及び C 測定を行った結果、B⁺測定と C 測定のどちらかが常に高い値を示しているわけではなく、B⁺測定値が C 測定値を大きく上回る場合もあれば、その逆もある。溶接ヒュームは発生後すぐに上昇、拡散するとともに、外乱気流の影響も受けるため、B⁺測定と C 測定のサンプリング位置が異なる限りは、2 通りの方法で得られる結果の間には、差が生じる可能性が高い。特に、局所排気装置が設置されている現場で測定を行なう場合、測定器を作業者より風上に置くか風下に置くかで、検出される濃度が大きく変わってしまうことが予想される。従って、B⁺測定を行なう場合には、前提として、測定者がある程度溶接作業の内容について把握していることと、測定器の操作に慣れていることが重要である。

B⁺測定の最大の利点は、測定器を測定者が保持するため、C 測定と比べて測定対象とする作業者の負担が減るということであるが、例えば、作業者が喫煙中である時間帯を意図的に測定対象時間から除外するといった操作を測定者の判断で瞬時に行なうことも可能であるため、より測定者優位に測定作業を進められる測定法だともいえる。

B⁺測定と C 測定はどちらも一長一短であり、現場測定の結果からは、一概にどちらが最適な測定方法かということは断定できなかった。C 測定は、測定点が固定されているため、測定した結果を過去に実施した測定結果と照らし合わせる際には、B⁺測定よりも比較がし易いということがわかった。今後、溶接現場において更に検証する必要があると考える。

以上の結果から、溶接作業現場での測定に関しては、当該作業場において作業者に測定器を取り付けることが可能であるならば C 測

定を実施し、それが不可能な場合に限り B +測定によって補完するという形を採ることが望ましいという結論に至った。また、改良型 PDS-2 によるサンプリングデータとビデオ画像の同期を図ることによって、作業者に対する有効な教育や、粉じん対策に対する適切な評価を通じた、より実効性のある対策の選択を期待することができる。この手法は、溶接作業に留まることなく粉じん取扱作業場全てに対して適用出来るため、その応用範囲は広いと考えられる。

我が国初となる質量濃度と相対濃度の同時測定が可能な改良型 PDS-2 を開発出来たことは、これからの粉じん濃度測定への貢献が大きいと考えられる。

3 粒状活性炭—加熱脱着—CG/FID測定法による有機溶剤の定量法

管理濃度の改正により従来より低濃度域における測定が求められ、固体捕集—溶媒脱着—GC/FID法が用いられ事が多くなる状況にある。その際、脱着溶媒に有害要因を多く含んでいる二硫化炭素が広く用いられているため、それに代わる分析法の確立が緊急の課題である。近年、吸着剤を加熱することで、捕集した物質を脱着するという加熱脱着装置が開発された。これを用いることにより、有害な二硫化炭素等を用いずに有機溶剤等の分析を行うことができると期待される。

そこで、作業環境測定に広く用いられてきた活性炭を加熱脱着法に適応させることの可能性について検証を試みた。その有効性を確認するために、作業環境測定で義務付けられている物質の中から 10 物質を選定して、ヤシ殻活性炭及び石油ピッチ系由来の球状活性炭の加熱脱着特性の検討を行った。また、現在、管理濃度検討委員会で管理濃度を検討している中で、早急な対応が必要な二硫化炭素の加熱脱着分析についても併せて検討を行った。

3.1 椰子殻活性炭の加熱脱着特性について

3.1.1 目的

椰子殻活性炭を用いた加熱脱着分析が可能であるかを確認するためには、活性炭に捕集された有機溶剤が再現性良く分析される必要がある。そこで本実験では、再現性の検討を行った。また、活性炭からの脱着状況は、今回検討していない溶剤の加熱脱着分析の可能性を推測する手がかりになると考えられるため、脱着率の検討も併せて行った。

3.1.2 測定対象物質

測定義務のある有機溶剤全てに対して検討する必要があるが、今回は、実際の有機溶剤取り扱い現場で測定される頻度が高い物質を 10 種類選定し、表 7 に示す。また、管理濃度及び沸点等も併せて表 7 に示す。

表 7 測定対象物質とその特性

物質名	分子量	密度 (g/cm ³)	沸点 (℃)	管理濃度 (ppm)
ジクロルメタン	84.9	1.307	40	50
アセトン	58.1	0.785	56	500
クロロホルム	119.4	1.480	61	10
メタノール	32.0	0.786	65	200
ノルマルヘキサン	86.2	0.655	69	40
酢酸エチル	88.1	0.891	77	200
イソプロピル アルコール	60.1	0.781	82	200
トルエン	92.1	0.862	111	50
o-キシレン	106.2	0.876	144	50
スチレン	104.2	0.901	145	20

3.1.3 分析機器及び活性炭管について

1) 分析機器

- ・加熱脱着装置：TDTS-2010（島津製作所）
- ・ガスクロマトグラフ：GC-2010（島津製作所）
- ・検出器：FID（島津製作所）
- ・カラム：DB-1（J & W 社）

2) 活性炭管と活性炭について

本研究で用いた活性炭管は、長さ 90[mm]、6.4 [mm]、4.0[mm]のガラス管に株式会社柴田科学社製の椰子殻活性炭（20～40メッシュ）及び株式会社ガステック社製の球状活性炭（0.6[mm]）を約 150[mg]充てんして作製した。また、管は通気性を上げるため、片方をスクリーン（Agilent

社製)で固定し、反対側を石英ガラスウール約 0.03 [g]で固定した。捕集後は銅製の金具で栓をし、保存または分析にかける。

椰子殻活性炭の特性は、充填密度 0.44 (g / m l)、中心粒径 0.75 (mm)、細孔容積 0.47 (m l / g)、比表面積 1048 (m² / g) である。また、粒状活性炭は、石油系ピッチを原料として真球性の高い活性炭で、充填密度 0.44 (g / m l)、中心粒径 0.75 (mm) 細孔容積 0.47 (m l / g)、比表面積 1048 (m² / g) である。

3.1.4 実験方法

1) 作業環境測定において、基準となるのは管理濃度 (単位は [ppm]) である。そこで、100 [mL/min] の流量で 10 [min] サンプルングを行うと仮定し、薬品の濃度を調整した。

2) T字管に活性炭管を連結させ、調製した薬品 1 [μ L] を活性炭管に導入する。その後、高純度の窒素ガスを約 50 [mL/min] で 3 [min] 通気させる事により薬品を気化させて、目的成分を活性炭に捕集する。実験の様子を図 19 に示す。各物質に関してサンプル数は 3 本とした。

3) 加熱脱着装置にセットし、各活性炭管に関して連続 2 回分析を行う。

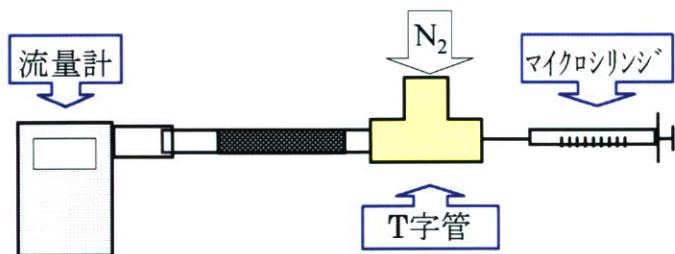


図 19 実験方法の概略図

3.1.5 実験結果

分析結果を再現性と脱着率という観点からまとめて表 8 に示す。再現性は相対標準偏差 (以降 R.S.D. [%]) で算出する。R.S.D. が 10.0 [%] 以内であるとき、良好な値であると評価する。

表 8 椰子殻活性炭の再現性と脱着率

物質名	R.S.D. (%)	脱着率 (%)
ジクロルメタン	5.05	99.9
アセトン	4.45	99.6
クロロホルム	3.62	99.9
メタノール	10.7	98.9
ノルマルヘキサン	4.55	83.2
酢酸エチル	8.04	99.8
イソプロピルアルコール	12.3	99.9
トルエン	14.6	84.0
o-キシレン	58.5	74.0
スチレン	9.43	75.4

3.1.6 考察

結果から、ジクロルメタン、アセトン、クロロホルム、酢酸エチルに関しては R.S.D. が 10.0 [%] 以内に収まっており、脱着率も 99.0 [%] を上回る傾向が見られたので、良好な脱着性能が得られたと言える。一方で、メタノール、イソプロピルアルコールは比較的脱着率が高いが、R.S.D. が 10.0 [%] 以上になっている。また、トルエン、o-キシレンは R.S.D. が 10.0 [%] を上回っており、脱着率も低い。これらの物質は今回の条件下では脱着性能が悪く、精度の良い分析は期待できない。

上記のような結果になった理由を考察することにする。

R.S.D. が 10.0 [%] を上回ったこと及び脱着率の低さは、物質の沸点が影響を与えていると推測できる。これは、トルエンよりも高い沸点を有している物質に関して脱着率が悪くなる傾向が見られるためである。スチレンはトルエンよりも沸点が高いにもかかわらず、R.S.D. が 10.0 [%] 以内に収まっている。しかし、脱着率が 75.4 [%] と低い値を示していることから、他の物質と同様に沸点が影響していると推測する。そこで、スチレンに関して、今回検討した薬品の 1/10 倍の濃度で再現性を確認したところ R.S.D. が 10.0 [%] を上回った。よってスチレンも沸点の影響を受け、今回の条件で精度よく分析することはできないという結論に至った。しかし、メタノール、イソプロピル

アルコールは脱着率は 99.0[%]前後を示している
 ので、沸点以外にも原因が考えられる。メタノール
 及びイソプロピルアルコールはともにヒドロキシ
 シル基 (-OH) をもつ極性物質である。一方、
 ヤシ殻活性炭は炭素以外に酸素、水素、窒素、硫
 黄などから成り立っており、これらが表面酸化物
 として存在するため、非極性吸着剤と言われる活
 性炭も極性をもつ。吸着分子と表面酸化物が水素
 結合を形成したため、他の物質とは異なる傾向を
 示したと推測する。

今回確認した物質の傾向から、未検討の物質に
 関して、トルエンより高い沸点を有する物質、及
 び極性物質は R.S.D.及び脱着率が悪くなると予想
 される。吸着している物質は与えるエネルギーが
 大きくなれば、脱離することが分かっている事か
 ら、精度良く分析するためには加熱温度及び加熱
 時間を変更することで改善が期待できる。

3.2 球状活性炭の加熱脱着特性について

3.2.1 目的

椰子殻活性炭では比較的沸点が高い物質を精度
 良く分析するためには、分析に時間がかかること
 がわかった。そこで新たな吸着剤を取り入れるこ
 とにした。それが球状活性炭である。球状活性炭
 は溶媒脱着用に新たに利用が検討されている吸着
 剤であり、高沸点物質において溶媒脱着の脱着性
 能もヤシ殻活性炭に比べ良好な結果を示している
 という報告がされている。そこで、球状活性炭が
 ヤシ殻活性炭よりも素早い脱着性能を有している
 ことを期待し、加熱脱着分析における再現性及び
 脱着率の検討を行う。

3.2.2 粒状活性炭について

使用した粒状活性炭は、市販の椰子殻活性炭で、
 石油系ピッチを原料として真球性の高い活性炭
 で、充填密度 0.44 (g/ml)、中心粒径 0.75(mm)
 細孔容積 0.47 (ml/g)、比表面積 1048 (m²/
 g) である。

3.2.3 実験結果

実験結果を表 9 に示す。評価方法は表 8 と同様
 である。なお、比較しやすいように表 8 に示した

椰子殻活性炭の結果も併せて表 9 に示す。

表 9 粒状活性炭の再現性と脱着率

物質名	R.S.D. (%)		脱着率 (%)	
	球状 活性炭	ヤシ殻 活性炭	球状 活性炭	ヤシ殻 活性炭
ジクロロメタン	3.23	5.05	100	99.9
アセトン	5.85	4.45	99.8	99.6
クロロホルム	8.57	3.62	99.9	99.9
メタノール	2.60	10.7	99.7	98.9
ノルマルヘキサン	1.00	4.55	99.4	83.2
酢酸エチル	1.31	8.04	100	99.8
イソプロピル アルコール	2.24	12.3	99.9	99.9
トルエン	3.62	14.6	91.8	84.0
o-キシレン	8.35	58.5	84.1	74.0
スチレン	35.6	9.43	82.8	75.4

3.2.4 考察

球状活性炭に変更することで最も効果が出たの
 が、トルエンと o-キシレンである。脱着率も、
 沸点が高くなるにつれ低くなる状況は変わらない
 が、その値はヤシ殻活性炭よりも良好であった。
 しかし、ヤシ殻活性炭と同様に、濃度が変わると
 R.S.D.が 10.0[%]を上回る可能性がある。そこで、
 トルエン、o-キシレン及びスチレンに関しては
 1/10 倍の濃度において 5 サンプルで確認実験を行
 った。その結果、トルエンは R.S.D.が 7.84[%]、o-
 キシレンは R.S.D.が 26.3[%]、スチレンは R.S.D.
 が 22.0[%]であった。

良好な結果を得たトルエンとは対比的に、o-キ
 シレン、スチレンは球状活性炭を用いても 280
 [°C]、5 [min] の分析条件では良好な結果を得るこ
 とができなかった。ジクロロメタンからイソプロ
 ピルアルコールまでの物質は、再現性及び脱着率
 の面で良好な結果を得た。

3.2.5 考察

球状活性炭に変更することで最も効果が出たの
 が、トルエンと o-キシレンである。脱着率も、
 沸点が高くなるにつれ低くなる状況は変わらない
 が、その値はヤシ殻活性炭よりも良好であった。
 しかし、ヤシ殻活性炭と同様に、濃度が変わると
 R.S.D.が 10.0[%]を上回る可能性がある。そこで、
 トルエン、o-キシレン及びスチレンに関しては

1/10 倍の濃度において 5 サンプルで確認実験を行った。その結果、トルエンは R.S.D.が 7.84[%]、*o*-キシレンは R.S.D.が 26.3[%]、スチレンは R.S.D.が 22.0[%]であった。良好な結果を得たトルエンとは対比的に、*o*-キシレン、スチレンは球状活性炭を用いても 280[°C]、5[min]の分析条件では良好な結果を得ることができなかった。ジクロロメタンからイソプロピルアルコールまでの物質は、再現性及び脱着率の面で良好な結果を得た。

3.3 対象物質の検量線の作成

3.3.1 目的

加熱脱着分析においては、吸着剤に捕集されたガスが全量装置に導入される。物質により、必要とする濃度が高く検出器の上限に至る可能性がある。ここでは、作業環境測定で求められる管理濃度の 1/10 倍の濃度から管理濃度以上の範囲で検量線を作成することができるか確認した。

3.3.2 実験結果

各物質の検量線をまとめて表 10 に示す。

表 10 対象物質の検量線

物質名	検量線	R
ジクロロメタン	Y=184721X	0.9994
アセトン	Y=109041	0.9998
クロロホルム	Y=155003	0.9998
メタノール	Y=427X	0.9994
ノルマルヘキサン	Y=236973	0.9939
酢酸エチル	Y=576341	0.9993
イソプロピルアルコール	Y=442026	0.9994
トルエン	Y=1329534	0.9997
<i>o</i> -キシレン	Y=3388290	0.9993
スチレン	-----	-----

濃度[ppm]はサンプル捕集量を 0.5[L]として換算した結果である。これは、1[L]で換算したところ、物質によっては目標とする濃度範囲の直線性が得られないことが背景にある。ポンプで安定した流量を確保できる下限は 50[mL/min]であるため、その流量で 10[min]捕集した 0.5[L]をサンプル捕集量とした。ただし、メタノールはサンプル捕集量を 1[L]として検量線を作成したため、換算も 1[L]で行っている。また、ヘキサンに関しては、80ppm までの濃度範囲で、20ppm までの 2 点は直線にのるが、60 及び 74ppm は直線にの

らず、良好な直線性を得ることができなかったが、参考までに検量線を表 10 に示した。

3.3.3 考察

加熱脱着分析は、捕集した物質全量を装置に導入することから、作業環境測定のように高濃度を対象とした現場の気中ガス濃度を定量するには、定量可能な上限を確認する必要がある。ジクロロメタン、クロロホルム、メタノール、酢酸エチル、トルエンに関して、管理濃度以上の範囲で良好な直線性を得ることができた。一方、アセトン、イソプロピルアルコール、*o*-キシレンは一定の範囲で直線性が得られたが、管理濃度以上の範囲で直線性を得ることができなかった。

目標とする範囲の直線性が得られない理由は大きく分けて 2 点考えられる。1 つは検出器の上限値に至っている可能性である。酢酸エチルを用いて、スプリット比を 1:100 の条件に変更し、装置に導入する量を減らしたが、大きな改善は見られなかった。もう 1 つの理由は吸着剤が破過を起こしている可能性があることである。しかし、イソプロピルアルコール (496[μ g]) に関して破過を確認したが、問題はなかったため、検出器の上限に至っている可能性が有力と言える。

直線性が得られないような高濃度の定量が求められる場合は、従来通りの溶媒脱着法を併用することで対処する事を考えているが、その様な現場が多く存在することは考えにくく、現状の検量線で十分対応できるのではないかと考える。濃度[ppm]はサンプル捕集量を 0.5[L]として換算した結果である。これは、1[L]で換算したところ、物質によっては目標とする濃度範囲の直線性が得られないことが背景にある。ポンプで安定した流量を確保できる下限は 50[mL/min]であるため、その流量で 10[min]捕集した 0.5[L]をサンプル捕集量とした。ただし、メタノールはサンプル捕集量を 1[L]として検量線を作成したため、換算も 1[L]で行っている。

3.4 対象物質の検出下限・定量下限の確認

3.4.1 目的

機器分析において、その下限値を確認すること