

大学等の化学実験室における 低予算での化学物質蒸気由来リスク低減の試み

長友重紀^{1*}、藤井邦彦²、佐藤智生¹

大学等の化学実験におけるリスク低減は長年の課題である。その中でも、多人数が同時に実験を行う学生実験室において揮発性の高い化学物質を使用する場合、実験を行う学生数に対して十分な数の囲い式フード型の局所排気装置を設置できていない状況がある。

さらに、囲い式フード型の局所排気装置については、予算とスペースの問題から必要数を導入できない場合も多い。そこで、我々は低費用でリスクの低減化を図るために、通常の化学実験室に備えられている既設の設備を活用して外付け式フード型の局所排気装置を導入した。本報告では、その費用対効果と実際に使用した学生の意見を示し、化学実験における安全性の向上および教育効果を紹介する。

キーワード：化学実験、環境整備、局所排気、初年度学生、低費用

1. はじめに

化学物質に対する安全面での認識の深まりとともに、近年、とりわけこの10年ほどの間に化学系の学生実験に関係する安全教育は大学、高専においてかなり充実したものになってきている^{1)~5)}。本学においても、化学物質を取り扱う可能性のある学生、大学院生に対して、学群（学部）学生向けに「安全衛生と化学物質」（2008年度～）、「実践・安全衛生と化学物質」（2016年度～）、大学院生向けに大学院共通科目「化学物質の安全衛生管理」（2008年度～）、「環境安全衛生マイスター養成講座」（2015年度～）を開講し、さらに、新たに研究室に配属された4年生、大学院生に対して「化学物質取扱者のための環境安全衛生講習会」（2007年度～）を行い、安全意識の向上を図っている。

このように、化学実験での安全意識の向上を促進させるべく開設されている講義と実践の拡充がされる一方、法律による規制強化への対応、特に学群初年度学

生用の化学実験室については、学生の作業頻度のより高い研究室の改善が優先されることもあり、改善に時間がかかっている。化学実験室にあるリスクとしては、次のような事例が挙げられる—揮発性の高い試薬の吸い込み。発火、高温、低温によるやけど。ガラスの破損による負傷。換気不十分による酸素不足など—。その中で化学物質蒸気にはく露することによるリスクは作業環境管理・衛生工学的対策により低減させることが重要であるが、多くの実験室で囲い式フード型の局所排気装置（ドラフト）の設置数は学生実験者数に対して十分でない状況にある。そのため、学生実験中、有機溶媒など揮発性の高い試薬はドラフト内で学生に使用させるが、1ドラフトあたりの学生実験者数の多さのため、学生実験中にいわゆる「時間待ち」の状況が生じることもある。

このような状況にもかかわらず、「ドラフトの設置スペースを確保できない」、さらに、「ドラフト本体や設置に伴う排気ダクトなどの増設工事等に多額の費用がかかる」などの理由により、ドラフトの拡充による環境整備が困難な場合がある。そこで、次善策として、外付け式フード型の局所排気装置を実験台に設置することで費用を抑えつつ、実験者の安全のより一層の向上を図ることが可能と我々は考えた。本報告では、局所排気装置を設置した費用対効果と実際に使用した学生の意見を示し、低費用で学生実験の安全性の向上お

2017年3月29日 原稿受付、2017年5月10日 受理

2017年●月●日 早期公開

1 筑波大学数理物質系

2 筑波大学総務部リスク・安全管理課

*nagatomo@chem.tsukuba.ac.jp

DOI : 10.11162/daikankyo.17H0301

©2017 Academic Consociation of Environmental Safety and Waste Management, Japan

よび教育効果を示すことができた例としてその内容を紹介したい。

2. 方法

2.1 設置方法

今回局所排気装置の設置対象としたのは、本学の学群学生の化学実験室である。実験室は1975年に建築された建物にあり、実験室（床面積141 m²）および準備室（同21 m²）を一組とした実験室が2部屋ある。図1はそのうちの片方の実験室である。実験室内には実験台（1,500×2,250 mm：4人で使用）が各10台ある。教卓側の2台には試薬等を置くので実験可能な学生数は各部屋で32人（両部屋で64人）である。この人数に対し、ドラフトは各部屋に4台設置されており、現状では1ドラフトあたり最も多い場合8人での共用となる。

そこで、表1に示す物品を8セット購入して外付け式フード型局所排気装置を設置することを計画し、実行した。購入金額は8セットでおよそ110万円である。



図1 筑波大学学群学生実験室

表1 局所排気装置（1セット）設置用に購入した物品の一覧

物品名	個数
1. ファンユニットM型	1
2. 配管用ダクトホース(内径φ 102 mm × 2.5 m)	2
3. 2連ダクト(直接型)(φ 75 mm用)	1
4. 硬質フレキダクト(φ 75 mm × 1,200 mm)	2
5. 丸型フード(φ 180 mm)	2
6. フランジ付きジョイント100(φ 100 mm ダクトホース用)	1
7. ストレージジョイント100(φ 100 mm ダクトホース用)	1

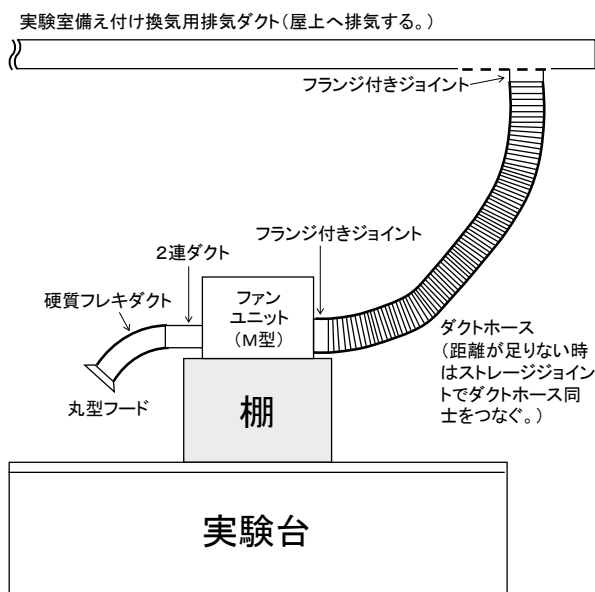


図2 局所排気装置の概略図

これを各部屋に4台設置した。

外付け式フード型局所排気装置の概略を図2に示す。今回の局所排気装置の設置戦略では、実験室に既設の換気用排気ダクトを利用することで、設置費用を抑制している。

フード部分は丸型フードを用い、これに硬質フレキダクトでつないだファンユニットを用いて、実験台で発生する有機溶媒等の蒸気を吸引した。吸引した蒸気はファンユニットからダクトホースを経由して換気用排気ダクトに排出される。この排気ダクトは実験室内の全体換気のために給気ダクトとともに実験室に備えられており、5階建て建物の屋上までつながっている。

設置は2016年3月末に行い、2016年度の初回の学生実験より運用を行った。

2.2 アンモニア水を用いた局所排気能力の評価

実験台の上に空の100 mLビーカーを置き、実験台から上方18 cmに局所排気装置の丸型フードを置いて、実験者の「呼吸域」の位置にあたる高さ（実験機から55 cm上方）にモニター（検知管：株式会社ガステック、No.3L、No.3Laアンモニア用。VOCモニター：RAE Systems社、ppbRAE3000）を設置した。局所排気装置を稼働させて空のビーカーに28-30%アンモニア水を注ぎ、同時に検知管の吸引を開始した。また、VOCモニターは作業中継続してデータを取り1分間の平均値を測定した。同様の実験を、局所排気装置を稼働させずに行った。

2.3 学生アンケートの実施方法

局所排気装置の設置による安全に対する教育効果の

表2 アンケート質問項目

1. 局所排気装置について(2択) ある方がよい。質問2.へ ない方がよい。質問3.へ
2. 「ある方がよい。」に○をした方にお尋ねします。 ある方がよい、と考えた理由は何でしょうか。(自由記入欄)
3. 「ない方がよい。」に○をした方にお尋ねします。 ない方がよい、と考えた理由は何でしょうか。(自由記入欄)
4. 局所排気装置は現在すべての机についていませんが、今後増やすことができるならば増やした方がいいと考えますか。それとも現在の数で十分と考えますか。あるいは減らす方がいいと考えますか。(3択) 増やす方がよい。 現在の数のままでよい。 減らす方がよい。
5. 学生実験室における局所排気装置に関して、意見があれば記入してください。 (自由記入欄)

確認のため、アンケート調査を実施した。アンケートの項目を表2に示す。学生実験の最終日にアンケート用紙を配布し、同じ日に回収した。調査は学生実験で実験室を使用した学群学生105名に対して行った。

3. 結果

3.1 局所排気装置の排気能力

実際の設置状況を写真(図3)で示す。図3(a)は学生が使用する実験台付近、図3(b)はファンユニットと実験室付属の換気用排気ダクトまでのダクトホース、図3(c)はフランジ付きジョイントと結束バンドを用いてダクトホースを接続した換気用排気ダクトの吸気口付近をそれぞれ示している。図3(c)のフランジ付きジョイントとダクトホースはなべネジとナットで留めており、フランジ付きジョイントからのダクトホースの落下を防いでいる。

風速計およびスモークテスターで丸型フードの風速を調べたところ、丸型フード面で1.4~1.5 m/s、丸型フード面から10 cm下のところで0.2~0.3 m/s程度、20 cm下のところで0.0 m/s程度であった。丸型フードの真下では風速が保たれるが、真下から幾分ずれると風速が低下した。なお、この数値は4台同時稼働時の値である。

3.2 アンモニア水(28-30%)を用いた局所排気能力の評価

局所排気装置を稼働させた状態でピーカーにアンモニア水を注いだところ、検知管の値は1 ppm未満で、VOCモニターは0.142 ppm(1分間の平均値)であった。次に、局所排気装置を稼働させずに同様の実験を行ったところ、検知管は測定レンジをオーバー(>100 ppm)し、VOCモニターは258 ppm(1分間の平均値)であった。

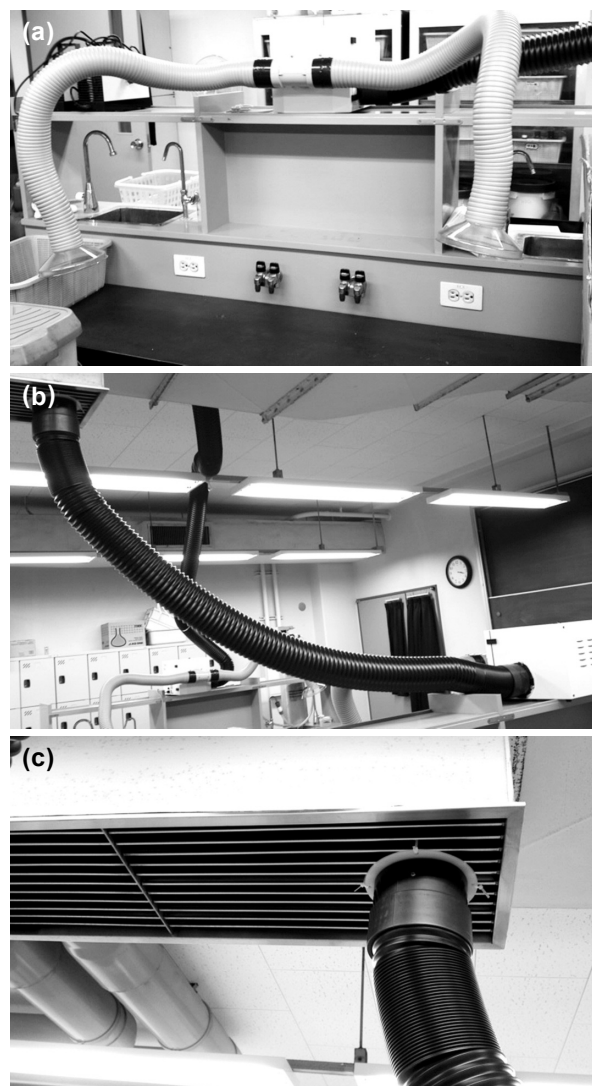


図3 設置した局所排気装置

(a) 丸型フード部分 (b) ダクトホース部分
(c) 換気用排気ダクト部分

3.3 アンケートから読み取れる本局所排気装置の使用のしやすさ

本局所排気装置を実際に使用した学生のアンケート結果を記す。回答数は93名(回答率89%)である。「1. 局所排気装置はある方がよい: 100%、ない方がよい: 0%」「4. 局所排気装置の増設について。増やす方がよい: 76%、現状でよい: 24%、減らす方がよい: 0%」と概ね肯定的な意見であった。2. の自由記述欄では肯定的な意見として「安全だから。」というものが多くあった。意味するところはおそらく「人体に対する危険を防ぐ。」ということと我々は考えている。5. の自由記入欄には「実験を行う際、自身の安全を考える必要があることを実感した。」「(局所排気)装置がある机に限られると、(局所排気装置を用いて)作業できる机に限りがあって効率的でないから、やはり全ての机にほしいと思う。」というものもあった。なお、

「 」中の () は我々が判断して補った言葉である。

4. 考 察

4.1 局所排気装置としての能力

沼野雄志著、やさしい局排設計教室(中央労働災害防止協会)によれば、本論文のような外付け式丸型フードの場合、風量と風速の関係は、J. M. Dalla Valleの実験式を用いると次式で近似できる⁶⁾。

$$V = \frac{Q}{60 \times (10 \times X^2 + A)} \quad \dots (1)$$

ここでVは風速(m/s)、Qは風量(m³/min)、Xはフードの開口面からの距離(m)、Aは開口面の面積(m²)を表す。この関係式に基づいて開口面からの距離に対する風速の値を計算すると表3のようになる。本報告では図3(a)に示す様に外付け式フードを二手に分岐したため、風量はファンユニットM型の仕様5.4 m³/minを2で割り2.7 m³/minとして計算した。表3から明らかのように、風速の実測値は、(1)式から計算される近似値と概ね一致した。今回設置した局所排気装置の丸型フードの開口径は18 cmである。30 cmにする選択肢もあったが、フードの開口面付近で分注等を行う分には、小さいフードの方が実験操作の障害にならないと考えて18 cmのフードを採用した。

ファンユニットからの排気が導かれる換気用排気ダクトの吸気口における風量は最小でも500 m³/h(実測値500 ~ 1000 m³/h)であり、ファンユニットM型の排気能力(324 m³/h)を上回っている。したがって、結束バンドのような簡易な取り付けであっても、ファンユニットから排出される揮発性の高い化学物質は実験室内に漏れることなく室外へ問題なく排気されているといえる。今回設置の局所排気装置が無い場合の全体換気について考えると、換気用排気ダクトの吸気口は4か所あるので最小でも1時間あたり2000 m³/hの実験室内の空気が換気用排気ダクトへ排気される。化学実験室の高さは約3 mであるので、容積を141 × 3 = 423 m³

と考えると、少なくとも13分に1回、部屋の空気が換気されることになる。しかし、このままでは揮発性の高い化学物質を扱う実験者はその発生源近くにいるため、全体換気で希釈・排気される前にその化学物質にばく露する可能性がある。今回、局所排気装置を設置したことにより、実験者近傍で局所的に発生する揮発性の高い化学物質が実験者の呼吸域に達する前に、より効率よく除去されることが期待できる。実際にイオンの呈色反応でアンモニア水を使った際、本局所排気装置により、臭いの軽減があることが実験担当教員により確認されている。「臭いの軽減」はこのこと(揮発性の高い化学物質がより効率よく呼吸域から除去されたということ)を示しており、さらに、3.2の結果から、アンモニアのばく露限界(25 ppm)に対して1 ppm未満と経気道ばく露を十分軽減していることが実証された。

4.2 学生の安全意識向上に対する効果

アンケートの回答数は93名で、「1. 局所排気装置はない方がよい。」「4. 局所排気装置を減らす方がよい。」という完全否定の意見はなかったことから、学生の安全意識向上に際して、一定の効果があったと判断している。これらの結果や自由記述欄での意見の背景には本学1年生用の講義「安全衛生と化学物質」も寄与していると思われる。局所排気装置増設の要望が多かった(76%)一方で、丸型フードにつながる硬質フレキダクトのことと推測されるが、「あった方がいいが、少々使いづらい部分がある。」という記述もあり、使いやすさについては、改善する余地があると考えている。

4.3 費用対効果について

今回設置した8台の局所排気装置の費用はおよそ110万円である。ドラフトだと1台で100万円程度するので、大幅な低予算で設置を行える。また、14万円程度で1台設置できるので、年度にわたって少しずつ導入できる点も利点であると考えている。学群学生の化学実験室の特徴として、一般に、使用する学生の実験スキル

表3 丸型フードにおける開口面からの距離と風速の値の関係

開口径d [m]	開口面の面積A [m ²]	開口面からの距離X [m]	V = Q / {60 × (10 × X ² + A)}		風速(実測値*) v [m/s]
			風量Q [m ³ /min]	風速(計算値) V [m/s]	
0.18	0.025	0	2.7	1.8	1.4 ~ 1.5
0.18	0.025	0.050	2.7	0.89	0.8 ~ 0.9
0.18	0.025	0.10	2.7	0.36	0.2 ~ 0.3
0.18	0.025	0.15	2.7	0.18	0.1 ~ 0.2
0.18	0.025	0.20	2.7	0.11	0.0
0.18	0.025	0.25	2.7	0.069	0.0

*: 4台同時稼働時の値を示す

は低く、多人数が使用するが、個々の学生の化学実験室使用頻度（時間）は、研究室配属後の研究室使用時間と比べてはるかに低いことが挙げられる。そのため、学生の実験環境整備を実験室の使用時間から判断すると、学群学生の化学実験室の環境整備より、研究室の環境整備が優先される傾向にある。優先順位をつけることは尤もではあるが、本化学実験室では1年間で約200名の学生の使用に対し、一人あたり初年度のみ5,500円の費用（予算）で環境改善を行っており、かつ、学生の実験スキルは低くても、丸型フードの真下に有機溶媒等の蒸気をもってくるという単純な操作のみで有機溶媒等の蒸気の吸入を防ぐこと（リスクの低減化）を可能としていることから、本方法はリスクのより一層の低減に対して大きな費用対効果をもたらしている。なお、今回は8セット（各部屋4台設置）を購入したため、その金額に基づいて議論したが、実験環境をより良くするためには、もう8セット購入の方が望ましい。その場合、費用対効果で記した数値は、2倍になる。

4.4 既設ダクトがない時の対応について

本報告では、実験室内の既設ダクトを利用して有機溶媒等の蒸気を屋上へ排出している。これは、有機溶剤中毒予防規則の第十五条の二第2項（排気管等の排気口の高さを屋根から1.5 m以上としなければならない）に合致したものである。実験室によっては、壁に取り付けてある換気扇等しか換気手段がない場合もある。しかし、同条文には厚生労働大臣が定める濃度（作業環境評価基準の2分の1）に満たない場合には適用除外されるとの記述がある⁷⁾。この基準を守る限りにおいては、既設排気ダクトが無い実験室においても室内の換気扇付近にダクトホースを誘導することで、ばく露対策ができる場合もありうる。ただし、この場合においても換気口からの排気が周辺通行人等に影響を及ぼさないよう十分配慮する必要がある。

4.5 より安全性を向上させた局所排気装置設置に向けて

本装置において、有害蒸気ばく露防止に対する一定の効果は得られたが、丸型フードの真下から幾分ずれると吸引が悪くなるという結果も得られた。このことを防ぐためには、実験台全体を囲い式にする必要があるかもしれない。囲うことにより一層のばく露防止効果は見込める。しかしながら、市販のステンレスの囲いだと、割高であるので、アングル等を用いて組み立てる方がよいと思われる。ただ、幾分人手を要することになる。

なお、本取り組みでは、作業者が揮発性の高い化学

物質の蒸気にばく露することによる健康障害の防止を主目的としており、気中濃度、排気濃度あるいは排気管中の濃度は爆発限界を大きく下回る範囲を想定しているため、ファンユニットは防爆構造ではないものを選定した。使用にあたってはこのことを十分留意しておく必要がある。

5. ま と め

今回は本来必要な局所排気装置の半分（8台）の設置を行った。局所排気的能力としては、十分な性能があり、実験で使用した学生の意見をみても、「実験を行う際、自身の安全を考える必要があることを実感した。」とあるように、意識向上にも貢献していると判断している。

さらに、設置に際しての作業であるが、ファンユニットにつないだ配管用ダクトホースと換気用排気ダクトを接続するところは、フランジ付きジョイントと結束バンドを用いることで作業を簡便にした。このように、設置作業において特殊な作業（電動ドリルは使用したが）を必要としないので設置する際に人員と作業時間もさほど必要としない。このことは表に現れにくいだが本改善手法の大きな利点であると考えている。

近年の安全面における意識の向上のみならず、2016年より、化学物質のリスクアセスメントが義務化された。法の趣旨にしたがうと、リスクの評価をした後の実際の対策も重要である。この対策として本試みは、予算が少ない状況における局所排気装置の設置に際して、大きな費用対効果をもたらしている。同様な問題を抱えている大学等において、それらの解決の一助になれば幸いである。

謝 辞

本報告を記すにあたり、作業環境管理による化学物質蒸気由来リスク低減に関して、さらに化学実験室への局所排気装置設置にあたり筑波大学数理物質系教授の野本信也先生に多くの貴重な助言をいただいた。厚く感謝する。

引用文献

- 1) 主原愛, 大島義人: 大学の学生実験における作業評価基準と作業工程との関連性に関する統計学的解析, 環境と安全 2(2), 119-125, 2011.
- 2) 吉崎佐知子: 金沢大学環境保全センターにおける環境教育への取り組み, 環境と安全 3(1), 45-50, 2012.
- 3) 荻野和夫, 片岡裕一, 川越みゆき, 雑賀章浩, 星井進

- 介: 高等専門学校における環境安全教育の現状—化学薬品を使用する現場での安全教育と廃液・廃棄物への対応—, 環境と安全 4(1), 39-47, 2013.
- 4) 山田悦, 布施泰朗, 柄谷肇: 京都工芸繊維大学における環境安全教育と環境安全教育デーの取組み, 環境と安全 4(3), 229-235, 2013.
- 5) 陳寧, 三品太志, 村田静昭, Ruth Vergin, 田中寿郎: 名古屋大学における留学生および外国人研究員に対する安全教育・講習の効果, 環境と安全 7(1), 11-16, 2016.
- 6) 沼野雄志: 新やさしい局排設計教室—作業環境改善技術と換気の知識—第5版, 148, 東京, 中央労働災害防止協会, 2012.
- 7) 厚生労働省通知(基発第194号): 平成9年労働省告示第20号(有機溶剤中毒予防規則第15条の2第2項ただし書の規定に基づき労働大臣が定める濃度を定める件)等の適用について, 1997.

Trial of risk-reducing derived from vapors of chemical materials at low cost in chemical laboratories

Shigenori Nagatomo^{1*}, Kunihiko Fujii², Tomoo Sato¹

1. Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba

2. Division of Risk Management, Department of General Affairs, University of Tsukuba

Risk-reducing in chemical experiments in universities is an urgent task. Although environmental arrangement of chemical laboratory for undergraduate students at the moment does not look enough, it is difficult to obtain a sufficient cost to improve in many of recent universities.

Therefore, we tried to set up local exhaust ventilation at low cost by using already existing facilities to improve environments of chemical laboratory. In the present report, we introduce cost-effectiveness for setting up local exhaust ventilation and educational effects for undergraduate students who used the local exhaust ventilation.

Keywords: chemical experiment for undergraduate students, environmental improvement, local exhaust ventilation, low cost