



ビニールバッグ作業用局所排気装置の開発

Development of Local Exhaust Device for Vinyl-bag Work

分析課 ビニールバッグ作業用局所排気装置開発チーム

Local Exhaust Device Development Team in Analysis Section

核燃料・バックエンド研究開発部門

核燃料サイクル工学研究所

再処理廃止措置技術開発センター

施設管理部

Facility Management Department

TRP Decommissioning Center

Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

August 2023

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

ビニールバッグ作業用局所排気装置の開発

日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所
再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部

分析課 ビニールバッグ作業用局所排気装置開発チーム

(2023年6月23日受理)

東海再処理施設の分析所では、施設の運転及び維持管理のために再処理施設内の各所から依頼される試料の分析作業をグローブボックスで行っており、分析作業で使用する試薬や分析備品の搬入、分析作業に伴い発生した放射性廃棄物等の搬出は、グローブボックスに取り付けられたビニールバッグを用いたバッグイン・バッグアウトと呼ばれる方法で対応している。当該作業で、万一ビニールバッグを損傷させた場合、グローブボックス内部の放射性物質が漏えいし、ビニールバッグの表面や作業場所の汚染、及び発生した汚染物質が浮遊すると作業エリアの空気汚染にまで進展する可能性があり、これらを防止するためのハード的対策を講じることが望まれていた。

そこで、本件では、東海再処理施設の分析所におけるビニールバッグを用いたバッグイン・バッグアウトの作業状況、ビニールバッグと類似の取り付け構造を有するグローブに係る既存の局所排気装置であるグローブ交換作業用排気カートの仕様と特徴を精査し、ビニールバッグ作業のための実用的な局所排気装置を開発した。開発した局所排気装置は、従来からビニールバッグ作業で使用してきた作業台であるシーラー台と同じ寸法・形状とし、その内部にグローブ交換作業用排気カートの構成部品であるフード部、HEPA フィルタ、排気ブロワ等を設置した。その結果、開発した局所排気装置を用いることで、従来と同等の作業手順、作業量でビニールバッグ作業における空気汚染の拡大防止措置が図れ、当該装置が汚染拡大防止のための有効な装置であることを確認した。

Development of Local Exhaust Device for Vinyl-bag Work

Local Exhaust Device Development Team in Analysis Section

Facility Management Department

TRP Decommissioning Center, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 23, 2023)

In the analytical laboratory of Tokai Reprocessing Plant, samples for operation and facility maintenance are analyzed in glove-box. Analytical reagents and equipment are carried inside the glove-box, and radioactive wastes generated through the analytical work are carried out using plastic bag (vinyl-bag) attached to the glove-box. The work carrying in and out from the glove-box is called as bag-in and bag-out. During these works, if the vinyl-bag is damaged, radioactive materials inside the glove-box may be leaked out and radioactive materials contaminate the vinyl-bag surface and the work area. In addition to that, if the radioactive contamination floats into the air, air in the work area may be contaminated.

In this study, actual situation of the vinyl-bag work, specifications, and features of a local exhaust device for glove exchange work, which is an existing local exhaust device for gloves with a similar installation structure to vinyl-bags, have been investigated. Then, local exhaust device for vinyl-bag work have been developed. The developed local exhaust device has the same dimensions and shape as worktable that are conventionally used for vinyl-bag work. Also, a hood, HEPA filter, and exhaust blower, which are main components of the exhaust device for glove exchange work, are installed inside of this worktable. As a result, it has been confirmed that the developed local exhaust device is effective to prevent air contamination in vinyl-bag work without increasing the work procedures, manpower, and work time.

Keywords: Glove-box, Vinyl-bag, Local Exhaust Device

目 次

1. はじめに	1
2. 既存機器の調査とビニールバッグ作業への適用時の課題	2
3. ビニールバッグ作業用局所排気装置の開発	3
3.1 設計	3
3.1.1 VB 作業による汚染発生メカニズムとその対策	3
3.1.2 開発する局所排気装置への要求事項	4
3.1.3 基本設計	4
3.2 開発・製作	5
3.2.1 モックアップ試験	5
3.2.2 ビニールバッグ作業用局所排気装置の製作	6
4. 実作業への適用	7
5. まとめ	9
謝 辞	9
参考文献	10

Contents

1. Introduction	1
2. Review of existing device and issues for applying vinyl-bag work	2
3. Development of local exhaust device for vinyl-bag work	3
3.1 Design	3
3.1.1 Contamination mechanism of vinyl-bag work and its countermeasure	3
3.1.2 Requirement for developing local exhaust device for vinyl-bag work	4
3.1.3 Basic design of local exhaust device for vinyl-bag work	4
3.2 Development and fabrication	5
3.2.1 Mock-up tests	5
3.2.2 Fabrication of local exhaust device	6
4. Application to vinyl-bag work	7
5. Conclusion	9
Acknowledgments	9
References	10

表リスト

Table 1 グローブ交換作業用排気カート構成部品の仕様 13

Table 2 ビニールバッグ作業用局所排気装置の主な仕様 18

図リスト

Fig. 1 グローブボックスの外観とビニールバッグの取り付け位置 11

Fig. 2 バッグイン・バッグアウト作業の手順 12

Fig. 3 グローブ交換作業用排気カートの概略図 13

Fig. 4 バッグアウト作業によるシーラー台上の汚染発生メカニズム 14

Fig. 5 開発する局所排気装置の概要図 14

Fig. 6 各フード部の位置と作業台天板上の空気流線及び風速測定結果 15

Fig. 7 各天板形状における風速の測定結果 16

Fig. 8 開発したビニールバッグ作業用局所排気装置 17

Fig. 9 ビニールバッグ作業用局所排気装置を用いた作業手順 19

著者リスト

分析課 ビニールバッグ作業用局所排気装置開発チーム

氏名	所属*1	実施内容
三枝 祐	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課	モックアップ機器を用いた仕様検討 測定データ等の評価
青谷 樹里	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課	モックアップ機器を用いた仕様検討 測定データ等の評価
額満 直樹	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 (株式会社 アセンド)	モックアップ機器を用いた仕様検討 ルーチン作業に向けた課員への取扱指導
矢澤 瞬	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 (株式会社 アセンド)	モックアップ機器を用いた仕様検討 課内作業要領書の改訂
西田 直樹	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 主査	製作に係るメーカー打合せ 発注仕様書の作成、設計、適用に係るイン プット・アウトプットの作成 課内作業要領書の審査
石橋 篤	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 主査	詳細仕様の設計 測定データの評価 課内作業要領書の審査
山本 昌彦*2	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 マネージャー	詳細仕様の設計 測定データの評価 報告書の執筆
田口 茂郎	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 分析課 課長	測定データの評価 報告書の執筆・審査
久野 剛彦	再処理廃止措置技術開発センター 施設管理部 部長	基本設計の考案 設計・開発に係る進捗管理 報告書の審査 全体総括

*1 令和5年6月23日時点での所属

*2 責任著者 (Corresponding Author)

1. はじめに

核燃料サイクル施設等における放射性物質の取り扱いにあたって、プルトニウム (Pu) 等の α 線放出核種による作業者の内部被ばくを防止するため、閉じ込め機能を有する設備であるグローブボックス (以下、GB と記す) を使用している。GB 内への物品等の搬入、GB 内作業に伴い発生した放射性廃棄物等の搬出は、Fig. 1 に示す GB の側面に取り付けられている塩化ビニール製の筒状袋であるビニールバッグ (以下、VB と記す) を用いる。例えば、物品等の搬入では、GB から VB を引き出し、VB の端部を内側に折り返して物品を入れたのち、折り返した VB 端部を高周波加熱シーラーで熱溶着する。その後、VB を GB 内部に引き込み、溶着部よりも GB 側にある VB 部分を損傷させないようにハサミで切断し、GB の閉じ込め機能を維持したまま物品を搬入する。この VB を用いた搬入作業をバッグイン作業と呼ぶ。また、GB 内の放射性廃棄物等の搬出では、VB 内に放射性廃棄物を引き出したのち、VB 内の廃棄物よりも GB 側の部分を熱溶着したのち、溶着部をハサミで切断して放射性廃棄物を VB 内に閉じ込めたまま、切り離して搬出する。この VB を用いた搬出作業をバッグアウト作業と呼ぶ。

これら VB を用いたバッグイン・バッグアウト作業 (以下、VB 作業と記す) は、Fig. 2 に示す作業工程から構成される。VB は VB 用ポートを介して GB に接続されており、GB 内部は放射性物質で汚染されているため、作業中に万一ハサミやシーラー等で VB を損傷させた場合、内部の放射性物質が漏れ出し、VB の外側表面や熱溶着操作を実施する作業台であるシーラー台上部が汚染される可能性がある。また、熱溶着操作により放射性物質が VB の熱溶着部表面で検出されることもあり、これにより、シーラー台へ汚染が拡大した場合、空気汚染にまで進展する可能性もある。このため、VB 作業に係る作業管理として、作業者が十分に注意を払いながら行い、作業後に外観点検として VB に傷や亀裂等がないか目視確認し、且つ作業エリアの汚染検査を適宜実施することで汚染の発生防止に努めている。

一方、平成 31 年 1 月に発生した日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所のプルトニウム燃料第二開発室における汚染トラブル¹⁾では、GB から Pu を含む核燃料物質の貯蔵容器をバッグアウトする際に、高周波加熱シーラーのヘッド部先端を VB に誤って接触させたことにより VB が損傷し、作業者が VB の損傷に気付かずに作業を継続したため、放射性物質が作業室内に拡散し、作業エリアの空気汚染、作業者の皮膚汚染にまで事象が進展した。本汚染トラブルの再発防止対策として、従前から実施している「GB 内の物品の突起部の養生」、「ガラス器具類の容器への収納」、「ハサミ先端部の丸み付け」に加えて、高周波シーラーのヘッド部及びシーラー台角部の養生対策を講じることで VB の損傷防止を図った。しかしながら、更なる安全性向上を図るため、誤操作等によって VB の損傷が発生した場合でも空気汚染に事象を拡大させないハード的な対策として、局所排気装置等による措置を講ずることが望ましい。

そこで、東海再処理施設 (以下、TRP と記す) における VB 作業の実状を踏まえ、VB 作業時の汚染拡大リスクを低減するため、放射性物質の集塵機能と捕集機能を備えた実用的な VB 作業用局所排気装置を開発した。本報告書は、当該装置の開発に至るまでの実施内容についてまとめたものである。

2. 既存機器の調査とビニールバッグ作業への適用時の課題

VB 作業時における汚染拡大リスクの低減に向けた局所排気装置を開発するため、VB と類似した取り付け構造を有するグローブの交換時における汚染拡大防止対策を調査した。TRP では、GB のグローブポートに直接グローブを取り付ける PNC II 型グローブのグローブ交換作業において、Fig. 3 に示す局所排気装置であるグローブ交換作業用排気カートを使用している。グローブ交換作業用排気カートは、フード部、HEPA フィルタ、排気ブロウ等から構成され、グローブポートにフード部を取り付けて当該フード部から排気を行うことで、作業時にグローブの損傷や脱落等が発生して GB 内の放射性物質が漏えいした場合でも、放射性物質をグローブ交換作業用排気カートへ集塵して HEPA フィルタで捕集することができ、作業時の汚染拡大が防止できる。Table 1 に示すように、グローブ交換作業用排気カートの排気能力はフード部において約 0.5 m/s 以上の風速を確保し、HEPA フィルタによる捕集率は粒径 0.3 μm で 99.97% 以上の性能を有する。グローブ交換作業用排気カートは、グローブ交換作業の終了後にフード部及び本体外観の汚染検査を実施するとともに、当該排気カート保管中は本体及び保管区域の汚染検査と線量率測定を月 1 回実施する汚染管理で対処している。

グローブ交換作業用排気カートは、TRP において保守・点検・管理方法が確立された実績のある局所装置ではあるものの、当該排気カートを VB 作業へ適用するにあたって、いくつかの技術的に改善すべき課題が上げられた。例えば、GB 正面に取り付けられているグローブの交換作業は、グローブ交換作業用排気カートを設置するのに十分な作業スペースを確保できるものの、VB の設置位置は Fig. 1 に示すように GB の側面、又は背面に取り付けられており、VB 作業は GB 間や GB と建家壁面間等の狭所で実施する機会が多い。このため、VB 作業において幅と奥行が約 1 m の当該排気カートを設置するための十分なスペースを確保することが難しい。また、当該排気カートを VB 作業で使用した場合、フード部を VB ポートに取り付ける必要があるものの、ポート径を規格化しているグローブと比較して、VB ポート径は 6~22 インチとサイズに幅があり、個々の VB ポート径に合わせたフード部の調整等が必要となる。さらに、グローブ交換作業の頻度が約 2 回/月に対し、VB 作業の頻度は約 1 回/週以上と多く、VB 作業の度にフード部の調整等を行うことは、従来の VB 作業量（作業員 2 名で約 30 分間）から大幅な作業量の増大となる。したがって、既存のグローブ交換作業用排気カートをそのまま VB 作業に適用することは現実的ではなく、新しい局所排気装置の開発が適切であると判断した。

3. ビニールバッグ作業用局所排気装置の開発

新たに VB 作業用局所排気装置を開発するため、まず VB 作業における汚染発生メカニズムを確認するとともに、発生する可能性がある汚染の拡大を防止する方策を整理した。次に、開発する局所排気装置の使用条件を踏まえ、要求事項を整理し、基本設計を決定した。さらに、モックアップ等により、装置の各機能について評価した。以下、その詳細を示す。

3.1 設計

3.1.1 VB 作業による汚染発生メカニズムとその対策

GB や VB の内部は放射性物質によるダスト（粒子）で汚染されていることから、VB 作業中に VB を損傷させた場合、放射性物質が漏えいし、VB 表面が汚染する可能性がある。また、VB の熱溶着操作において、Fig. 4 に示すように溶着箇所 VB 内面に放射性物質の粒子が存在するとこの粒子が VB 表面まで浸透し、これが VB 表面やシーラー台上部に付着する可能性がある。なお、これら汚染の防止にあたっては、GB 内の放射性廃棄物等をポリエチレン袋に入れることで、VB と汚染要因が直接接触しないように対策を施しているものの、VB 内面の汚染を完全に防止することは難しい。

TRP の分析所において取り扱う放射性物質は、主に U、Pu であり、その粒子径は 1 μm 以上と報告されている²⁾。このようなミクロン径の粒子は、外力が重力のみの場合、重力と空気抵抗がつり合う平衡速度で安定するため、粒子は沈降せず、空気中を浮遊する可能性が高い。例えば、(1)式に示す Stokes 流体における球体の沈降則を適用すると、粒子径 1 μm の沈降速度 v は 3.3×10^{-2} m/s となり、1 分間に沈降する距離は約 20 mm に留まる³⁾。このため、このような放射性物質の粒子が VB 表面やシーラー台上部から舞い上がると空気汚染まで進展し、最悪の場合、作業者の内部被ばくを引き起こす可能性がある。

$$v = \frac{g \cdot (\rho_{particle} - \rho_{air}) \cdot d^2}{18\mu} \quad (1)$$

v	沈降速度 (m/s)
g	重力定数 (9.8 m/s ²)
$\rho_{particle}$	粒子の密度 (11000 kg/m ³) ⁴⁾
ρ_{air}	標準状態 (25 °C、1013.25 hPa) における空気の密度 (1.2 kg/m ³) ⁵⁾
d	粒子径 (μm)
μ	空気の粘度 (1.8×10^{-5} Pa·s) ⁶⁾

VB 作業中に万一汚染事象が発生した場合でも、空気汚染に至る汚染の拡大や進展を防止するため、その原因と成り得る沈降速度の遅い粒子を汚染発生と同時に集塵捕集することが最も効果的な対策である。そこで、新たに開発する局所排気装置は、汚染の集塵と捕集機能を有す

るグローブ交換作業用排気カートを参考にするとともに、狭所でも VB 作業が可能な装置の開発を目指した。

3.1.2 開発する局所排気装置への要求事項

前節までの検討内容を踏まえ、開発する局所排気装置の要求事項を整理し、以下に列挙する。なお、開発する装置は、これら要求事項を満足する仕様に設計した。

- ① VB 作業において VB が損傷した場合、又は熱溶着操作により溶着箇所放射物質が浮き上がった場合、VB 表面やシーラー台上部に放射物質の粒子が付着し、これが浮遊して空気汚染を引き起こす可能性がある。このため、開発する局所排気装置は、漏えいした放射物質を集塵して捕集し、汚染拡大を防止する機能を保有させるとともに、放射物質の集塵・捕集に必要な十分な排気能力を有することが求められる。
- ② VB は GB の側面又は背面に取り付けられていることが多く、GB 間又は GB と建家壁面間の狭所にて VB 作業を実施する必要がある。このため、開発する局所排気装置は狭所でも使用可能なコンパクトな形状・寸法とすることが求められる。
- ③ TRP の分析所での VB 作業の頻度(約 1 回/週以上)や作業量(作業員 2 名で約 30 分間)を考慮すると、開発する局所排気装置を導入した VB 作業は、従来の VB 作業と同等の作業量で準備、運搬、操作、片付け等の一連の作業を簡便に遂行可能であることが求められる。

3.1.3 基本設計

前節の要求事項①に記した漏えいした放射物質を集塵・捕集するため、開発する局所排気装置は、TRP で実績のあるグローブ交換作業用排気カートと同様に、フード部、HEPA フィルタ、排気ブロワ等の部品から構成することとした。また、放射物質を取り扱う設備である GB の内部は、作業室内より常時負圧状態に維持されており、グローブポート部の開口面で常に 0.5 m/s 以上の風速が確保されている⁷⁾。同様に放射物質を取り扱うヒュームフードにおいても開口部の風速は、0.5~1.5 m/s 以上を確保できるように設計されている⁸⁾。さらに、グローブ交換作業用排気カートは GB のグローブポートに取り付けるフード部で 0.5 m/s 以上の風速となるように設計されている。これらを踏まえ、漏えいした放射物質を確実に集塵・捕集する仕様として、0.5 m/s 以上の風速を確保することが必要と判断し、この風速を担保できる排気ブロワを選定して局所排気装置へ取り付けることとした。

次に、前節の要求事項②に記した狭所でも使用できる形状・寸法を満足させるため、局所排気装置の構成部品となるフード部、HEPA フィルタ、排気ブロワ等をシーラー台へ組み込む一体構造とし、シーラー台としても併用可能な装置にすることとした。VB 作業では従来から幅：約 400 mm×奥行：約 400 mm×高さ：約 1000 mm の寸法のシーラー台を使用している。これにより、従来のシーラー台と同じ形状・寸法の装置で GB 間や GB と建家壁面間の狭所でも

VB 作業が実施できるようにした。

さらに、新たに開発する局所排気装置をシーラー台と兼ねた仕様とすることで、新たな装置の準備、運搬、操作、片付けの作業が不要となり、従来からの VB 作業工程を大きな変更することなく、前節の要求事項③に記した簡便な操作が担保できると考えた。なお、新たに開発する局所排気装置では予めフード部を設けることで、グローブ交換作業用排気カートのようにポート径に合わせてフード部を調整する必要がないようにした。

上記の基本設計を踏まえて立案した局所排気装置の概要図を Fig. 5 に示す。

3.2 開発・製作

3.2.1 モックアップ試験

Fig. 5 に示すように開発する局所排気装置は、既設のシーラー台と同形状の作業台内部に HEPA フィルタと排気ブロワを設置し、VB 作業により漏えいした放射性物質を作業台上から内部の HEPA フィルタと排気ブロワに向けて効率的に集塵・捕集できるようにする。このため、作業台上の放射性物質の集塵効果を担保できるように、フード部の位置や作業台表面における天板形状をモックアップ試験により最適化した。以下、その詳細を記す。

①フード部の位置

開発する局所排気装置は、グローブ交換作業用排気カートと同様に、フード部を介して放射性物質を集塵して HEPA フィルタに捕集する。このため、効率よく放射性物質を集塵・捕集できるように、作業台表面におけるフード部の位置を最適化する必要がある。そこで、Fig. 6 に示すように、フード部を作業台天板の上方、側方、下方に設置し、それぞれのフード部位置における天板上の空気流線を発煙管スモークテスター（ガステック製 No. 501）で観測し、風速を風速計（アイ電子技研製 VA-10L）で測定した。

その結果、上方と側方にフード部を設けた場合、それぞれ空気流線はフード方向へ流れるものの、天板とフード部間のスペースで VB 作業を実施するため、VB 作業中に空気流線の乱れが観測され、一部は集塵されずにフード部と異なる作業場所周辺に拡散する傾向が認められた。また、風速は Fig. 6 (a)及び(b)に示すように、フード部からの距離が離れるにつれて低下する傾向があり、上方にフード部を設けた場合はフード部からの距離が約 200 mm、側方にフード部を設けた場合はフード部からの距離が約 50 mm 離れると風速 0.5 m/s 以上を担保できないことが分かった。また、作業性の観点から、上方にフード部を設けた場合、フード部を固定するための支柱へのシーラーの接触、上方に設けたフード部で VB の溶着箇所が見えにくく、視認性低下による作業性の低下が考えられた。側方吸引でも上方吸引と同様に、フード部にシーラーが接触する可能性を確認した。

一方、フード部を下方に設けた場合、VB 作業中は空気流線に若干の乱れを観測したものの、フード方向に向かう流線は確保できており、作業台天板上における風速も Fig. 6 (c)に示すように全て 0.5 m/s 以上を担保できることが分かった。また、作業台天板下部の装置内部にフード部を設置できることから、視認性と作業性の低下もなく VB 作業を実施できることが分かった。

以上の結果より、本件で開発する局所排気装置において、フード部は作業台天板の下方に設

けることとした。

②天板及びその周辺の形状

局所排気装置のフード部を作業台天板の下方に設けた場合における最適な天板及びその周辺部の形状を決定するため、天板上における風速を測定するモックアップ試験を実施した。天板形状としては、天板上に直径 5～10 mm 程度の複数の吸引口を設けた「パンチング構造」、天板周囲にメッシュを設けた「メッシュ構造」、天板周囲のメッシュ近傍に小型フード部を設けた「メッシュ+吸引口構造」の 3 種類を準備し、それぞれ VB 作業を行う天板上に設けた測定点における風速を測定した。

各天板及びその周辺部の形状における風速の測定結果を Fig. 7 に示す。「メッシュ構造」と「メッシュ+吸引口構造」は、測定点 m①～m③、m⑥～m⑧、v①～v③、v⑥～v⑧において風速 0.5 m/s 以上を担保することができたが、天板中心付近となる測定点 m④、m⑤、v④、v⑤では風速 0.5 m/s 以上を担保することができなかった。これは、「メッシュ構造」、「メッシュ+吸引口構造」が、天板周囲から排気を行う空気流線であるため、天板中心付近では十分な風速を担保できなかったと推察される。一方、「パンチング構造」は、全ての測定点で風速 0.5 m/s 以上を確保することができ、作業台天板全体の空気を HEPA フィルタと排気ブロワのある作業台下方方向に導くことが可能と考えられた。このため、作業エリアに放射性物質が漏れだした場合でも放射性物質の粒子が空気中を浮遊して拡散するリスクは少なく、効果的な集塵と捕集が可能であると判断した。また、本モックアップ試験にて VB 作業を想定して、天板からフード部への VB 引き込みの有無を確認した結果、VB 引き込みはなく、支障なく VB 作業が実施できた。

これらの評価結果より、開発する局所排気装置の天板形状には「パンチング構造」を採用することとした。

3.2.2 ビニールバッグ作業用局所排気装置の製作

基本設計とモックアップ試験結果を踏まえ、開発する局所排気装置の主な仕様を決定して製作した。なお、製作にあたり、装置にキャスターを取り付けて作業者が容易に運搬できるようにするとともに、装置内部の汚染検査やメンテナンスを考慮した脱着式の側面カバー、作業台天板に汚染が検出された場合でも装置の保管場所周辺への汚染拡散を防止するための天板カバー、装置内の HEPA フィルタの目詰まりが確認できるよう差圧計等を取り付けることとした。また、フード部の材質にステンレス鋼 SUS304 を採用し、フード部表面の凹凸を減らすことで、装置内部へ放射性物質が侵入しにくくさせ、容易に除染ができる構造とした。さらに、VB 作業での操作性を考慮し、ビニールバッグ、テープ、ハサミ等の備品収納スペースも設けることとした。

4. 実作業への適用

VB 作業用局所排気装置の取り扱い方法等について、課内の作業要領書へ反映するとともに、その操作方法を作業へ教育したのち、TRP の分析所での VB 作業に適用した。実際の VB 作業へ適用した結果、以下の課題が判明したことから追加の改善を図った。

- ステンレス鋼製の天板カバーは重量があり、取り付け・取り外しの際に、作業者がカバーを落下させて負傷する可能性があった。
- フード部、HEPA フィルタ、排気ブロワの外観点検において、側面カバーを取り外す必要があるものの、ステンレス鋼製の側面カバーは重量があり、取り付け・取り外しの際に、作業者が側面カバーを落下させて負傷する可能性があった。
⇒天板カバーと側面カバーの材質を透明ポリ塩化ビニールに変更することで軽量化したことから、万一のカバー落下時であっても作業者の負傷発生を低減するとともに、透明カバーの採用によって目視にて容易に外観点検ができるようにした。
- 天板カバーの固定のために天板周囲にパチン錠を設けたが、VB 作業中にパチン錠と VB が接触した場合、VB を損傷させ、汚染が発生する可能性があった。
⇒パチン錠に VB との接触を防止するためのカバーを取り付け、VB の損傷による汚染発生リスクの低減を図った。
- 電源スイッチをシーラー台の下部に設置したため、電源の投入・切断操作を行いにくい。
- 側面カバーから電源スイッチが飛び出していることから、作業中にスイッチに接触して電源がオフとなり、集塵・捕集機能が停止する可能性があった。
⇒電源スイッチの位置をシーラー台上部の側面凹み部に設けることで、スイッチの使い勝手の向上と誤操作の防止を図り、不測の集塵・捕集機能の停止リスクを排除した。
- 電源ケーブルの収納部がなく、局所排気装置の移動時に電源ケーブルを引きずり、ケーブルの破損による電気災害発生の可能性があった。
⇒装置使用後は電源ケーブルを巻き取って収納できるように、電源ケーブルの収納用フックを設置した。これにより、電気災害発生の未然防止を図ることができた。
- 排気ブロワの排気口が装置外部に出てなく、排気した空気が内部に滞留する可能性があった。
- 排気ブロワの調節弁がなく、排気量の調整ができなかった。
⇒局所排気装置の側面部に排気口を設け、排気ブロワからの排気を装置内部から排出できるようにした。また、排気ブロワの排気量が調節できるようにボールバルブを設置した。

上記の改善を追加して、新たに開発した VB 作業用局所排気装置の外観を Fig. 8 に、主な仕

様を Table 2 に示す。当該 VB 作業用局所排気装置は、VB 作業において従来から使用してきたシーラー台と同等の寸法、形状であるものの、装置内部に HEPA フィルタと排気ブロワ等を設置しており、VB 作業において放射性物質の漏えいが万一発生した場合でも迅速な集塵・捕集が可能である。これにより、VB 作業における汚染拡大リスクや空気汚染発生リスクを低減することが可能となった。なお、排気ブロワが装置内に設置されているものの、VB 作業における当該ブロワの稼働時間はシーラー作業中の約 10 分程度であり、排気ブロワの稼働に伴う装置内の温度上昇などは確認されていない。

また、当該装置を用いた VB 作業の工程を Fig. 9 に示す。開発した局所排気装置を用いた VB 作業において、従来の VB 作業から追加された手順は装置の電源投入と切断のみであり、従来の VB 作業における作業量で十分に対応できることが分かった。

5. まとめ

VB 作業中に発生した汚染の空気汚染までの汚染拡大や進展を防止するハード的対策として、VB 作業用局所排気装置を開発した。開発にあたって、TRP の分析所における VB 作業の実状、既存機器としてグローブ交換作業用排気カートの特徴等を精査し、基本設計を決定した。その結果、TRP の分析所で使用実績があるグローブ交換作業用排気カートと同じ構成機器としてフード部、HEPA フィルタ、排気ブロワ等をシーラー台の内部に設置することで、従来から VB 作業で使用しているシーラー台と同程度の外寸形状とし、シーラー台を兼ねる装置とした。また、排気ブロワのフード部と作業台天板の取り付け位置と形状を、モックアップ試験を実施することで最適化し、装置仕様に反映した。これらにより、新たに開発した VB 作業用局所排気装置は、準備や片付け、使用時の操作性が高く、実施頻度が多い VB 作業においても実用的な装置であることが確認できた。また、開発した装置を用いた VB 作業は、従来の作業工程に装置の電源投入と切断のみを追加するだけで、作業量を増やすことなく、VB 作業時の空気汚染の発生リスクを低減することができた。

本報告の一部は、日本保全学会第 18 回学術講演会（令和 4 年 7 月）にて口頭発表をしたものです。

謝 辞

本装置の試作機と製品の製作においては、株式会社アート科学の齋藤 肇氏、廣原 昭吾氏に多大なご協力を頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) プルトニウム燃料技術開発センター：“核燃料サイクル工学研究所プルトニウム燃料第二開発室の管理区域内における汚染事象及びその後の現場復旧作業報告”，JAEA-Review 2021-007, 61p. (2021).
- 2) 加藤 良幸：“スクラップ MOX 粉末中の PuO_2 の硝酸への溶解性向上技術開発”，日本原子力学会和文論文誌, 14, pp.75-85 (2015).
- 3) 谷本 照巳, 星加 章：“大阪湾と江田内湾における懸濁粒子の沈降速度”，海の研究, 3, pp.13-20 (1994).
- 4) 高橋 聡, 奥野 浩, 三好 慶典：“MOX 粉末体系の臨界性に対する粒子粒径の影響”，JAERI-Tech 2005-056, 51p. (2005).
- 5) 日本産業規格: JIS Z 8804:2012, “液体の密度及び比重の測定方法” .
- 6) 日本化学会編：“改訂第 5 版化学便覧 基礎編 II”，p.II-37, 丸善(2004).
- 7) 日本産業規格: JIS Z 4808:2002, “放射性物質取扱作業用グローブボックス” .
- 8) 核燃料教材作成タスクフォース：“核燃料物質取扱いのための基礎（第 2 版）”，JAEA-Review 2020-007, 165p. (2020).

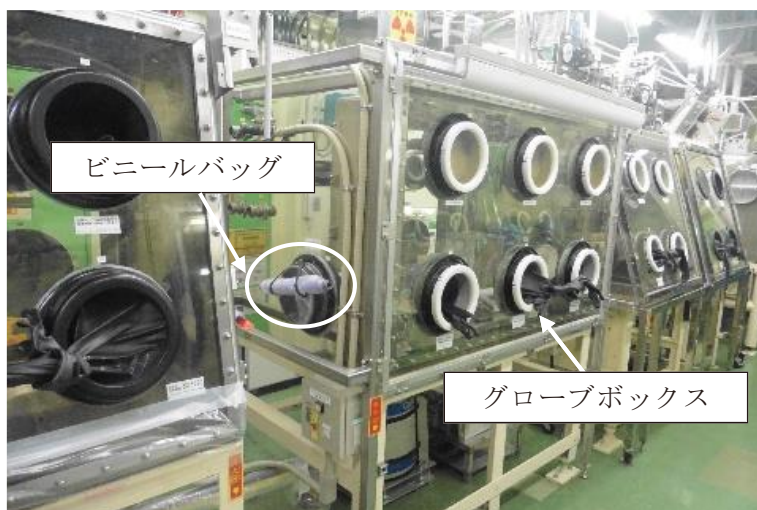
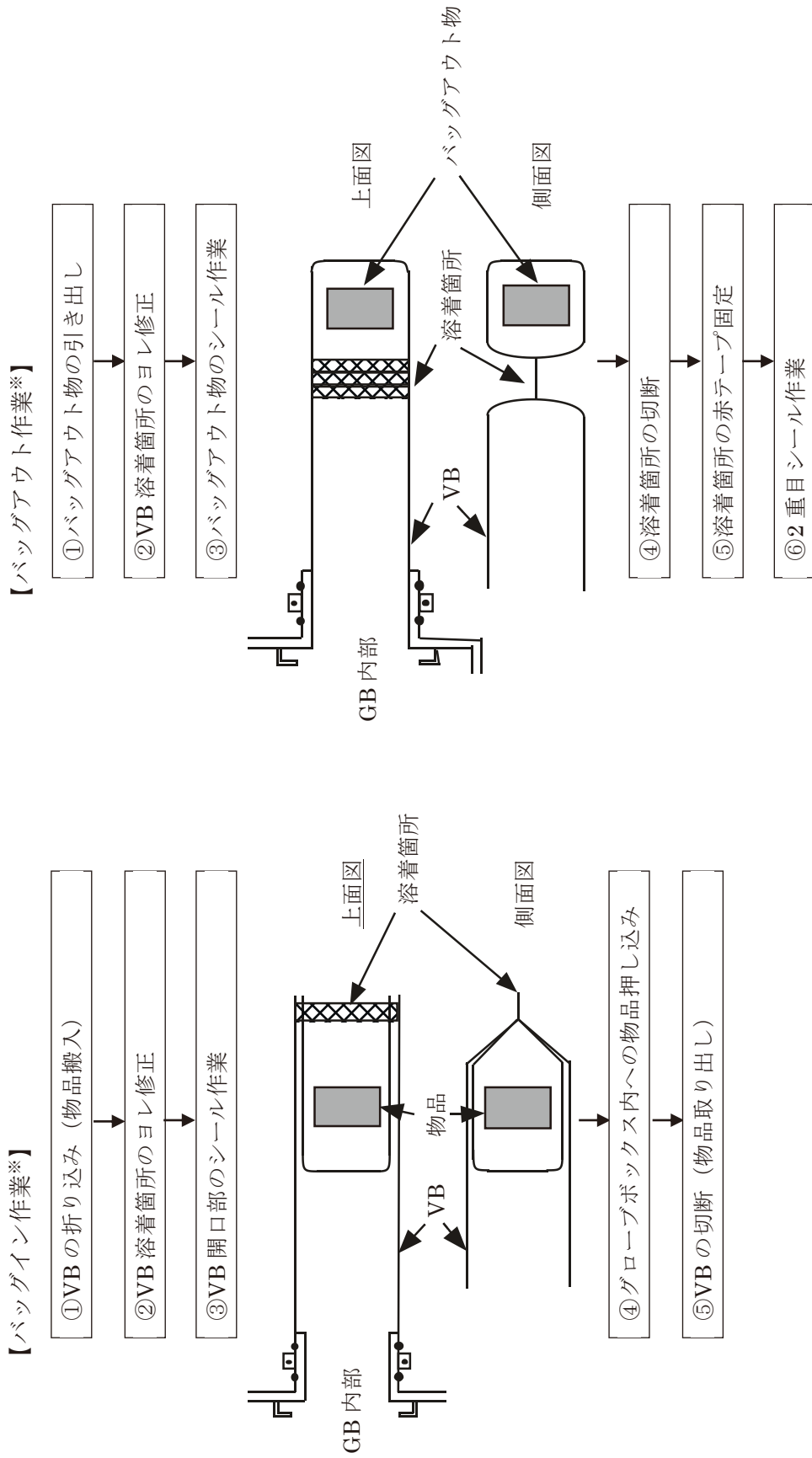


Fig. 1 グローブボックスの外観とビニールバッグの取り付け位置



※各手順後に外観点検(傷、亀裂の有無)、汚染検査を実施

Fig. 2 バッグイン・バッグアウト作業の手順

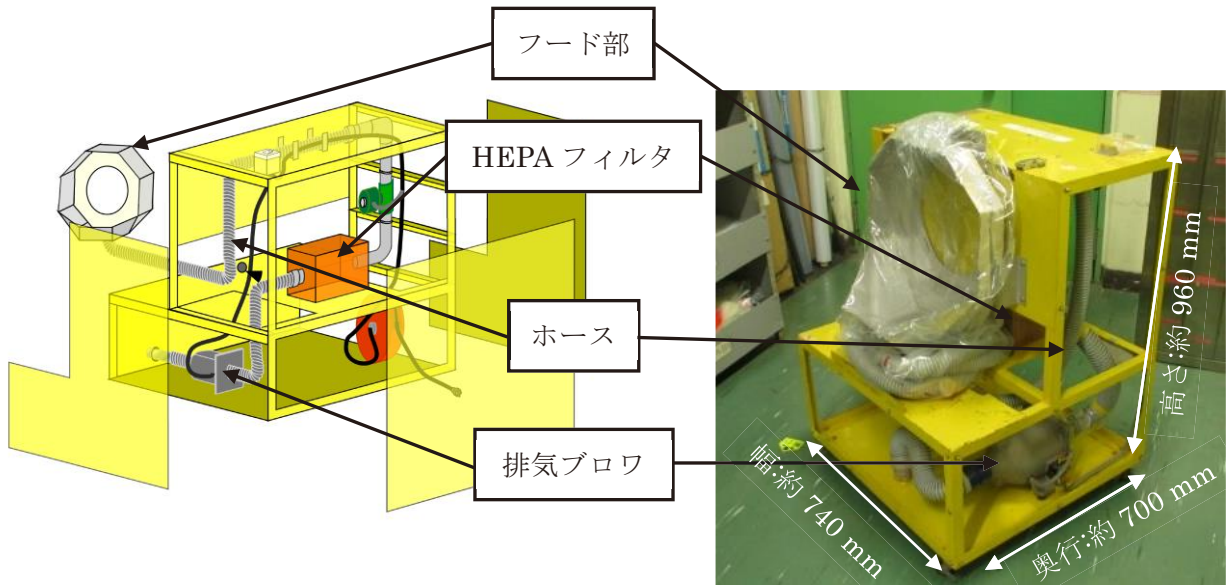


Fig. 3 グローブ交換作業用排気カートの概略図

Table 1 グローブ交換作業用排気カート構成部品の仕様

構成部品	項目	仕様
フード部	材質	アルミニウム薄板
	寸法 (mm)	幅 : 500 × 奥行 : 480 × 高さ : 120
HEPA フィルタ	メーカー 製品名	日本ケンブリッジフィルター製 アブソリュートフィルタ
	型式	1GC-50-2
	寸法 (mm)	幅 : 203 × 奥行 : 150 × 高さ : 203
	定格風量 (m ³ /min)	1.5
	圧力損失	249 Pa 以下
	捕集効率	99.97%以上 (粒子径 0.3 μm の場合)
排気ブロウ	メーカー 製品名	日立産機システム製 ボルテックスブロウ
	型式	VB-007S-G
	寸法 (mm)	幅 : 255 × 奥行 : 319 × 高さ : 270
	使用電圧 (V)	100
	定格風量 (m ³ /min)	0.6
排気能力 (m/s)		約 0.5 以上 (フード部での風速)

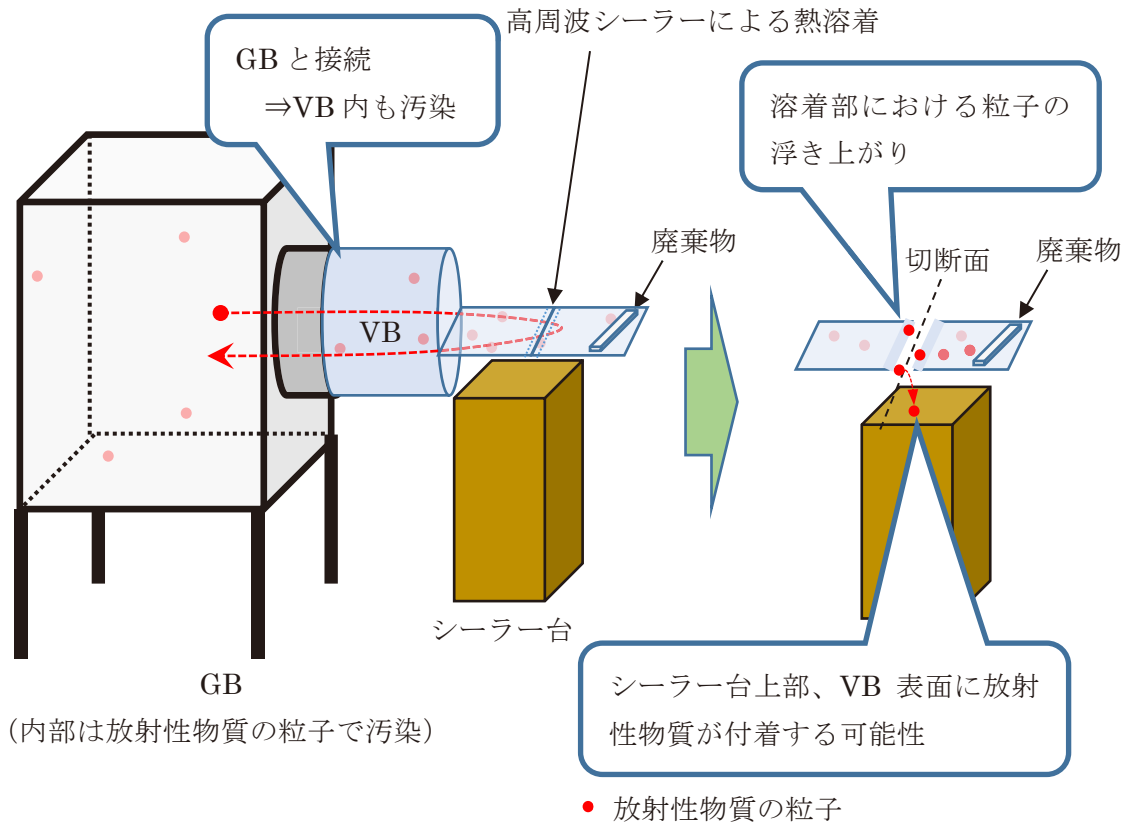


Fig. 4 バッグアウト作業によるシーラー台上の汚染発生メカニズム

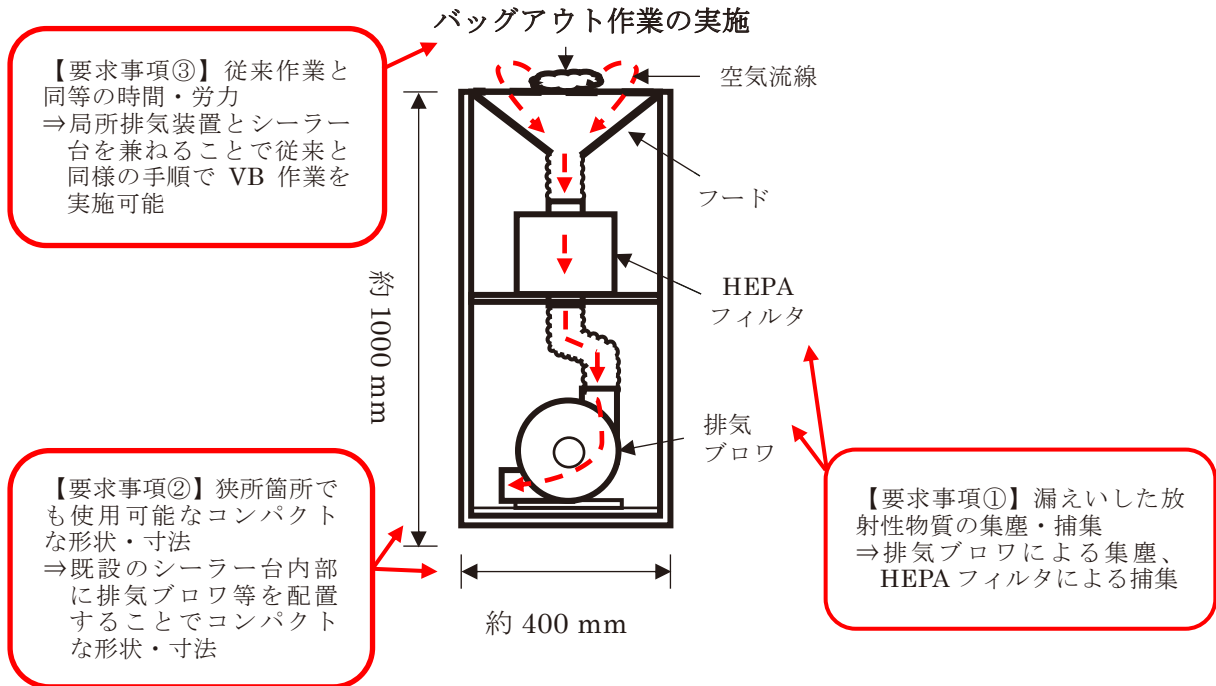
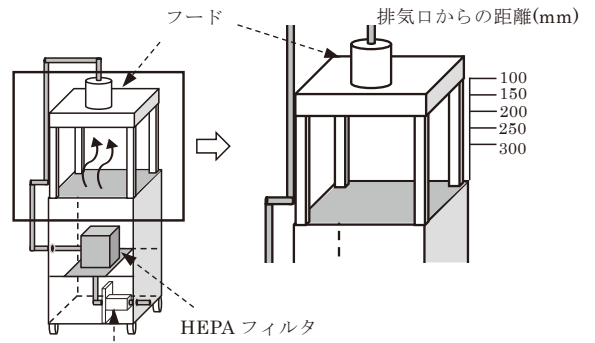


Fig. 5 開発する局所排気装置の概要図

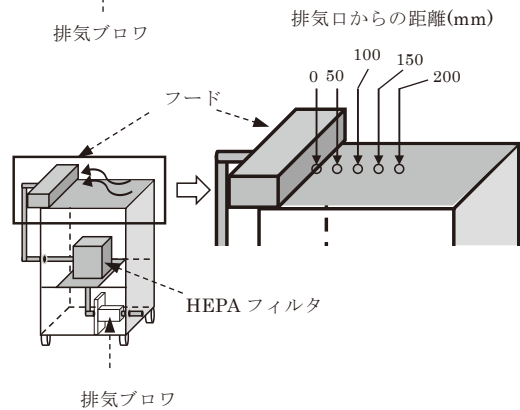
(a) 上方

排気口からの距離(mm)	風速(m/s)
100	0.95
150	0.67
200	0.36
250	0.24
300	0.13



(b) 側方

排気口からの距離(mm)	風速(m/s)
0	1.34
50	0.32
100	0.24
150	0.12
200	0.02



(c) 下方

測定点	風速(m/s)
①	0.67
②	0.89
③	0.74
④	1.64
⑤	1.75
⑥	0.71
⑦	0.94
⑧	0.62

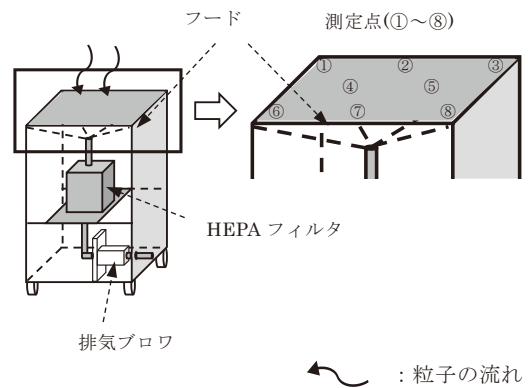
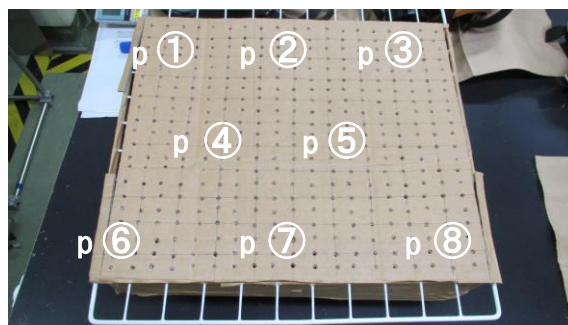


Fig. 6 各フード部の位置と作業台天板上の空気流線及び風速測定結果

(a) パンチング構造

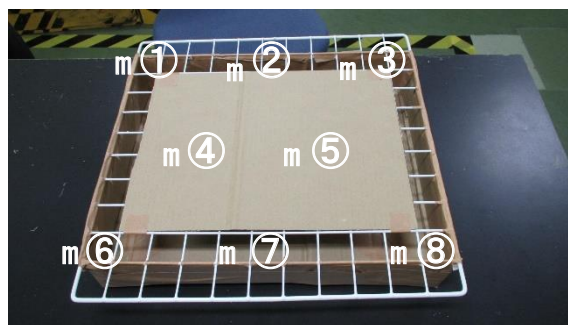
測定点	風速(m/s)
p①	0.71
p②	0.89
p③	0.68
p④	1.29
p⑤	1.38
p⑥	0.61
p⑦	0.74
p⑧	0.65



風速測定点(①~⑧)

(b) メッシュ構造

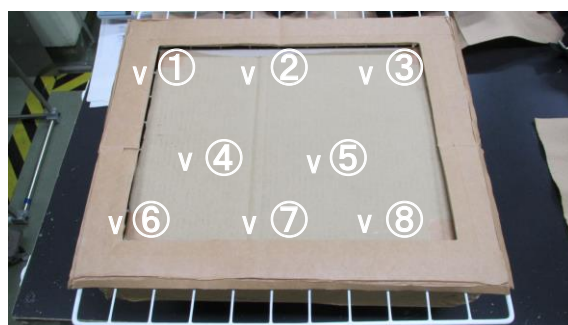
測定点	風速(m/s)
m①	0.74
m②	0.71
m③	0.64
m④	0.13
m⑤	0.18
m⑥	0.59
m⑦	0.68
m⑧	0.73



風速測定点(①~⑧)

(c) メッシュ+吸引口構造

測定点	風速(m/s)
v①	0.69
v②	0.75
v③	0.64
v④	0.21
v⑤	0.19
v⑥	0.64
v⑦	0.68
v⑧	0.71



風速測定点(①~⑧)

Fig. 7 各天板形状における風速の測定結果

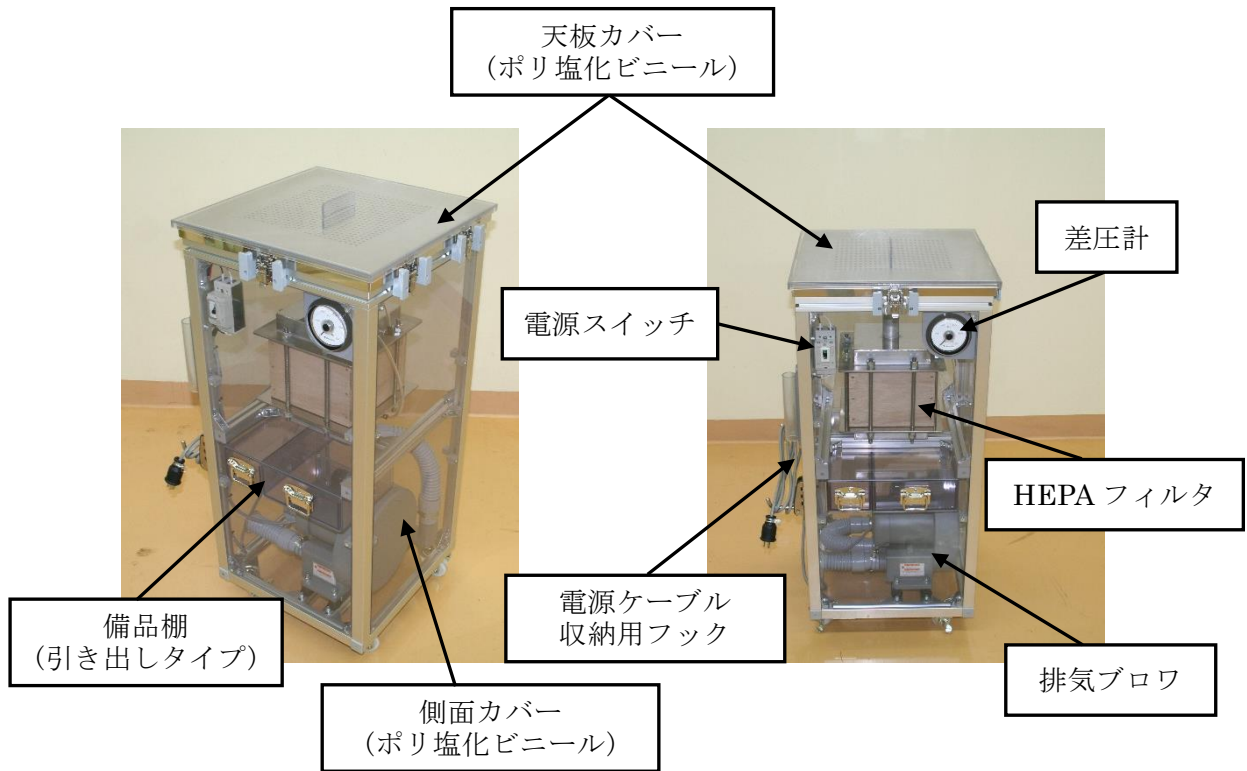
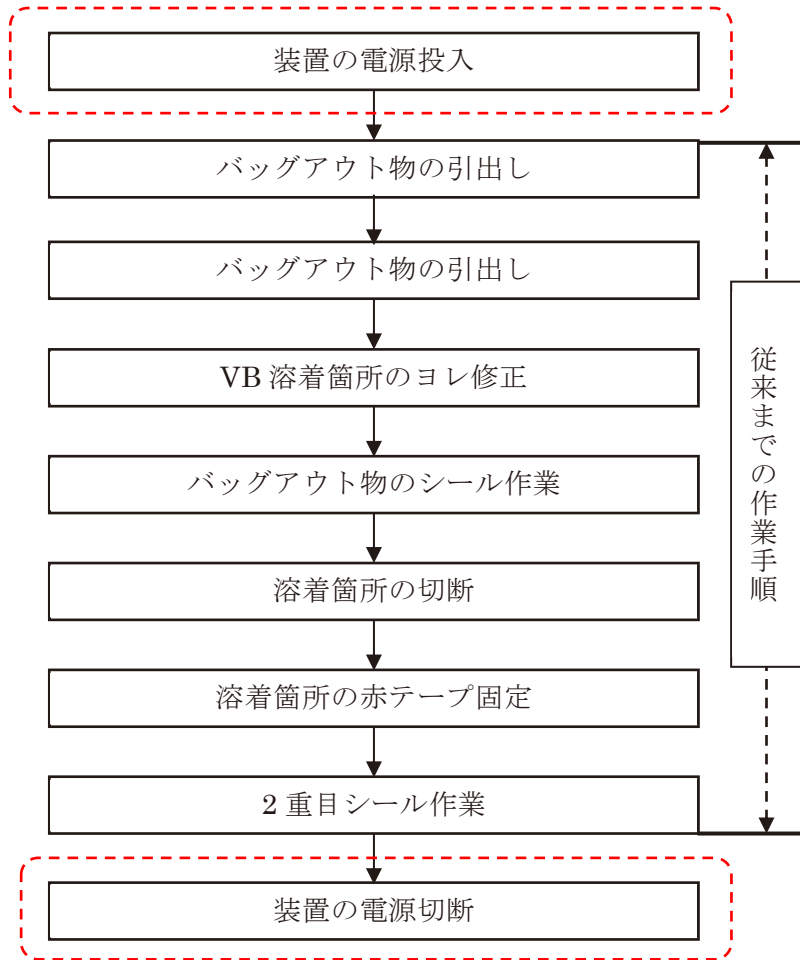


Fig. 8 開発したビニールバッグ作業用局所排気装置

Table 2 ビニールバッグ作業用局所排気装置の主な仕様

構成部品	項目	仕様
フレーム	材質	アルミニウム
	寸法 (mm)	幅：430×奥行：430×高さ：960
天板	材質	ポリ塩化ビニール
	寸法 (mm)	幅：430×奥行：430×高さ：2
	天板の形状	パンチング構造
	未使用時の保管状態	天板にカバーを設置して保管
	天板とフード間の構造	天板は脱着可能でフードへアクセス可能
フード部	材質	ポリ塩化ビニール
	寸法 (mm)	幅：375×奥行：375×高さ：80
HEPA フィルタ	メーカー・製品名	近藤工業株式会社製アブソリュートフィルタ
	型式	1GC-50-2
	寸法 (mm)	幅：203×奥行：150×高さ：203
	定格風量 (m ³ /min)	1.5
	圧力損失	249 Pa 以下
	補集効率	99.97% (at 0.3 μm 粒子)
排気 ブロワ	メーカー・製品名	日立産機システム製日立ボルテックスブロワ
	型式	VB-003S-E2
	寸法 (mm)	幅：222×奥行：215×高さ：260
	使用電圧 (V)	100
	定格風量 (m ³ /min)	0.8
	風量調節	ボールバルブ (旭有機材製 TS21) にて調整
	天板上の風速	0.5 m/s 以上
その他の設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排気状況確認のため、差圧計 (山本電機製作所製差圧計 WO081PCN100D) を設置 ・ ビニールバッグ、テープ等を収納する備品棚 (引き出しタイプ) を設置 ・ 電源ケーブル収納用フックを設置 	
総重量 (kg)	45	



※各手順後に外観点検（傷、亀裂の有無）、汚染検査を実施

■ 本局所排気装置の使用に伴い追加した手順

Fig. 9 ビニールバッグ作業用局所排気装置を用いたバッグアウト作業手順

This is a blank page.

