

三宅島における小型脱硫装置の性能実証実験

中浦 久雄 辰市 祐久 高橋 昌史 樋口雅人

木下 輝昭 天野 冴子 岩崎 好陽*

(*現・においかおり環境協会)

要 旨

三宅島において島民の安全対策の一つとして、個人家屋に適用可能な小型脱硫装置の性能について実験を行った。実験対象の小型脱硫装置は、活性炭を用いた装置 2 台と光触媒を用いた装置 1 台である。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① SO₂ ガスを高効率で除去できる酸化剤添着活性炭を用いた室内循環方式の小型脱硫装置は、家屋の換気回数 0.5 回/時程度の気密性があれば、SO₂ 濃度 0.2ppm 未満を確保できる。
- ② 光触媒方式の小型脱硫装置は、一定の効果が認められるものの、SO₂ 濃度 0.2ppm 未満を確保することは難しい。

キーワード：三宅島、火山ガス、二酸化硫黄、脱硫装置

Verification of small desulfurization devices for use in Miyake-Island

Nakaura Hisao, Tatsuichi Sukehisa, Takahashi Masashi, Higuchi Masato

Kinoshita Teruaki, Amano Saeko, Iwasaki Yosiharu *

* Japan Association on Odor Environment

Summary

As one of the measures for safety of the resident in Miyake Island, we experimented about the performance of the small desulfurization device for use in individual house. Two device types are experimented, one using activated carbon and the other using photo catalyst. The results are as follows.

- ① The device using activated carbon with oxidizer as additives could remove SO₂ at high efficiency. If this device is used in a house, where inner air exchange rate is 0.5 times an hour, SO₂ concentration in a house is maintainable at less than 0.2 ppm.
- ② The device of the photo catalyst method is difficult to maintain less than 0.2ppm in SO₂ concentration though a constant effect is admitted.

Keywords : Miyake Island, Volcanic gas, sulfur dioxide, desulfurization device

1 はじめに

三宅島では平成 12 年に雄山の噴火により全島民の避難が続いていたが、噴火から約 4 年半後の平成 17 年 2 月に帰島の条件が整ったとの判断から避難指示が解除された。

避難指示解除に先立って、平成 15 年 3 月の三宅島の火山ガス検討会¹⁾では、帰島のための具体的な安全確保対策等について慎重な検討を行なう必要があると指摘した。一方、火山ガスの状況については、火山ガスに含まれる二酸化硫黄（以下、「SO₂」という。）放出量が噴火当初は 1 日あたり約 2 万～5 万トン程度²⁾であったが、平成 14 年秋以降は横ばい傾向が続き 1 日あたり 3 千～1 万トン程度であった³⁾。また、SO₂の大気環境濃度は、島内 10 ヶ所のすべての測定地点で大気環境基準を達成していない⁴⁾。

このように、火山ガスの放出が続いている状況で帰島するためには、呼吸器に疾患のある人や幼児・高齢者等のハイリスク者等への安全対策の一つとして、個人家屋に SO₂ ガスを処理する小型の脱硫装置を設置できないかということについて検討する必要がある。

脱硫装置については、全島民の避難中に島内の道路や港湾施設などの普及作業に従事する作業員等の宿舎であるクリーンハウスなどに大型の装置が設置されていた。脱硫方法としては、活性炭吸着方式や苛性ソーダ溶液の洗浄方式が用いられ、室外の空気を脱硫装置に導入し浄化してから室内に取り入れる方式⁵⁾である。苛性ソーダ洗浄方式には、苛性ソーダ溶液の取扱の煩雑さ等から、苛性ソーダ溶液の代替として海水利用についての実験⁶⁾も行われた。しかし、個人家屋の 6～8 畳間程度に適した小型の装置は実用化されていないため、個人家屋に小型脱硫装置が適用可能かどうかを判断するために、小型脱硫装置の性能実証実験を行った。

2 実験内容

プレハブを実験室内に設置して小型脱硫装置（以下「脱硫装置」という。）の脱硫性能について基本的な実験（平成 15 年 8 月）を行い、その後、三宅島の個人家屋に脱硫装置を設置して現地実験（平成 16 年 6 月～8 月）を行った。

(1) 室内実験

ア 実験装置

実験室内にプレハブ（内径 縦 2.12 m×横 4.39 m×高 2.31 m、容量 21.5 m³）を設置し、その中に脱硫装置を置いて、ボンベから SO₂ ガスを注入し、プレハブ内の濃度変化等を測定した。なお、室内濃度が均一になるように扇風機でプレハブ内を攪拌した。

脱硫装置には空気の取り入れ方法の違いにより外気を吸引し SO₂ を除去した後、室内に供給する外気吸引方式と室内の空気を吸引し SO₂ を除去した後、再び室内に供給する室内循環方式とがある。クリーンハウス等に設置されている大型の脱硫装置は外気吸引方式であるが、建物の壁に穴を開けて吸気口を設けるなど、設置する場所に制約を受けるため、個人家屋に設置する場合は移動が可能で設置が容易な室内循環方式が有利である。

実験に用いた脱硫装置は図 1 のとおり室内循環方式で、試作機や市販の空気清浄機を改良したものなどである。なお、装置 A はダクトを接続することにより外気吸引方式でも設置が可能なタイプである。脱硫方法は、活性炭を用いたものが 2 機種で、光触媒を用いたものが 1 機種である。活性炭を用いた脱硫装置には、活性炭にアルカリ剤を添着したものがあるが、アルカリ剤は空気中の二酸化炭素と反応するため、性能低下が著しく長時間の稼動には適していない。このため、今回採用した脱硫装置では、活性炭に酸化剤を添着し、SO₂ ガスを酸化させて活性炭内にトラップする方法が用いられている。反応式を次に示す。

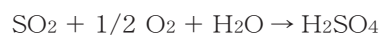


表 1 小型脱硫装置の概要

脱硫装置	A	B	C
脱硫方式	活性炭方式	活性炭方式	光触媒ハイブリット方式
原理	活性炭に吸着させる方式で、吸着効率を上げるために酸化剤を添着し、酸化作用を持たせている。	装置 A と同様に活性炭に吸着させる方式で、空気清浄機を改良したものである。	光触媒と紫外線ランプからなり、紫外線を吸収して活性化した触媒表面で SO ₂ を酸化して除去する。
処理風量 (m ³ /分)	2.5	3.8	0.4

イ 実験内容

① プレハブの気密性

実験に使用したプレハブは、窓、壁等に隙間があるので実験する前に気密性について調べた。測定方法は、ボンベから SO₂ ガスをプレハブ室内に注入し、室内の SO₂ 濃度を 10ppm にして、自然放置した状態で室内濃度の低減状況を連続測定した。

② 脱硫性能実験

プレハブ室内にボンベから SO₂ ガスを注入し、初期

SO₂ 濃度を 10ppm 及び 2ppm に設定した後、脱硫装置を稼働させ、室内と装置出口の SO₂ 濃度の経時変化を測定した。実験装置を図 1 に示す。

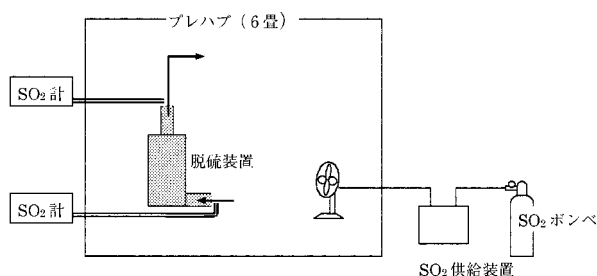


図 1 実験装置

③ 持続性能実験

約 20ppm の SO₂ ガスをボンベから連続して脱硫装置に供給して、脱硫装置出口の SO₂ 濃度を測定し、除去効率の経時変化を調べた。

ウ 測定機器

SO₂ 測定機器は、堀場製作所製 APSA-360A 連続測定器で、測定原理は紫外線蛍光法で測定レンジは 0 ～ 20ppm である。

(2) 現地実験

室内循環方式は、脱硫性能の効果だけでなく外から室内への漏れ込む SO₂ ガスの影響を受けるため、現地の建物を用いて外気の漏れこみの影響を含めた脱硫性能を検証した。

ア 実験施設

実験場所は三宅村職員住宅で、図 2 のとおり三宅島の東側の三池坪田地区に位置し、島内でも SO₂ ガスが高濃度になる地域である。職員住宅は、図 3 のとおり海岸から山側に上った場所で、南側にある 2 棟（A棟、

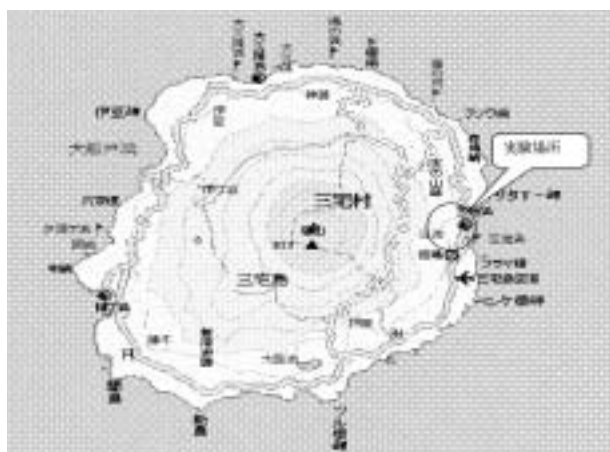


図 2 実験場所

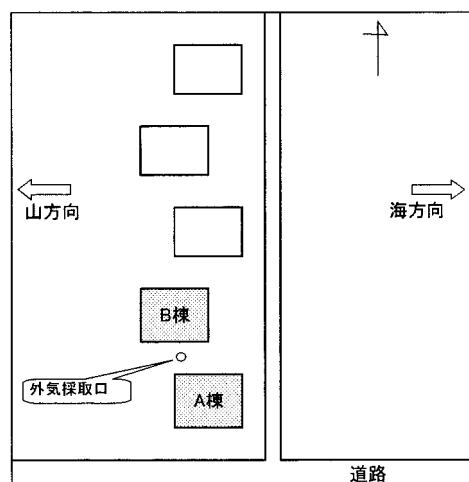


図 3 職員住宅配置図

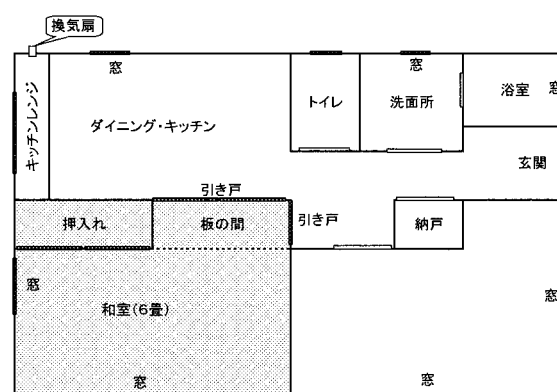


図 4 職員住宅の見取り図

B 棟）を用いた。住宅の構造は、木造平屋建て 2DK で各棟とも同一の造りである。

実験は、図 4 に示す西側和室（6 畳）を使用し、西及び南側にある 1 間の窓とカーテンを閉めるとともに、隣室との出入り口（板の間の 1 間及び半間の引き戸）も閉めた。

イ 実験内容

和室内に脱硫装置を設置し室内空気を吸引・処理した。室内空気は、部屋中央の高さ 1.2 m の位置から連続採取するとともに、A、B 両棟間の高さ 1.5 m の位置から外気を採取し、SO₂ 濃度を連続測定した。なお、建物の気密性を調査するため、B 棟の和室において脱硫装置を設置しない場合の室内 SO₂ 濃度も測定をした。

ウ 測定機器

SO₂ 測定機器は、室内空気については 2(1)ウと同一機種で、外気については理学計器製 API100AH 連続測定器を用いた。

3 結果及び考察

(1) 室内実験

ア プレハブの気密性

実験は目張りをしない状態と養生テープ等で目張りをした状態で行った。その結果、図 5 のとおり換気扇のみ目張りした状態だと 60 分で 30 % のリーク率であったが、換気扇、窓、床を目張りすることにより 7 % のリーク率となった。なお、リーク率には、プレハブの構造上の漏れだけでなく、壁などへの吸着等も含めたものである。実験は最もリーク率の小さい状態でを行った。

イ 脱硫性能実験

プレハブ室内の初期 SO_2 濃度を 10ppm 及び 2ppm に設定し、脱硫装置を稼働させ 0.2ppm (「三宅島火山ガスに関する検討会報告」⁷⁾ : 短期的影響についての二酸化硫黄濃度の目安 レベル 1。以下、「レベル 1 濃度」という。) まで低下する時間を測定した。なお、レベル 1 濃度とは、感受性の高い人に対して健康への影響が考えられる濃度、及び要援護者に対して、周囲の人が配慮する必要がある濃度である。

- ① 活性炭方式の装置 A、B は、図 6～9 に示すとおり初期 SO_2 濃度 10ppm、2ppm とも、装置出口濃度は稼働後 2～3 分で 0.2ppm 以下となり、その後は 0.001ppm 以下の状態で安定しており、除去効率は 99.9 % 以上を示している。なお、稼働当初の装置出口濃度が高いのは、稼働前から装置内に滞留していた SO_2 濃度の高い空気の影響と考えられる。
- ② 光触媒方式の装置 C は、図 10、11 に示すとおり初期濃度 10ppm では、除去効率は急激に低下し 2 時間経過後に約 30 % になり、その後一定となった。

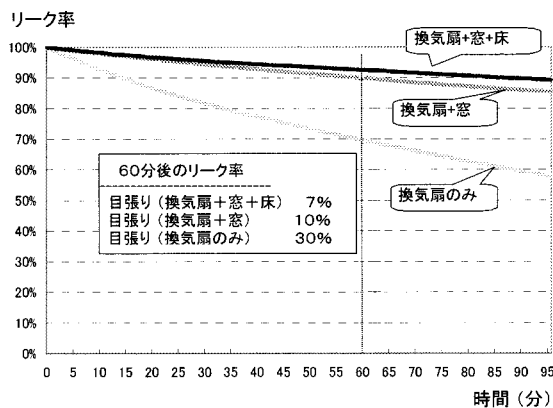


図 5 プレハブの気密性

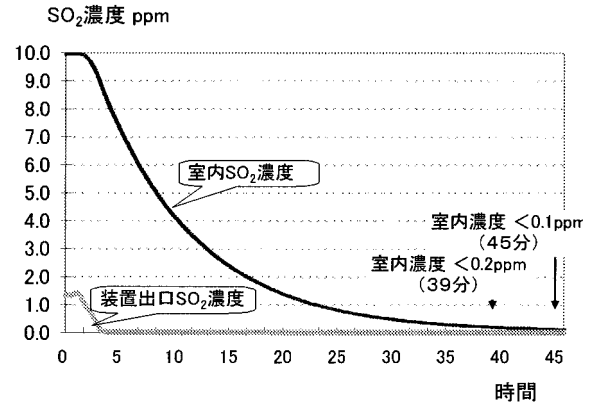


図 6 脱硫性能実験 (装置 A) (初期濃度 10ppm)

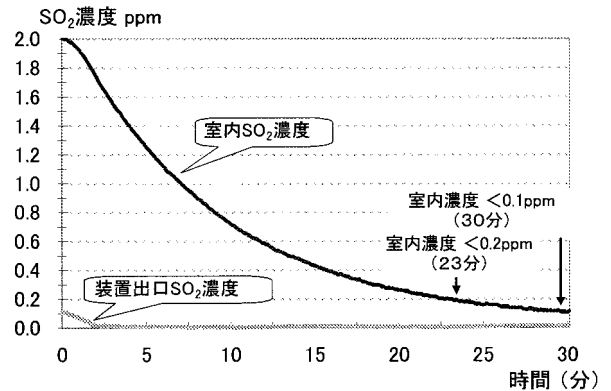


図 7 脱硫性能実験 (装置 A) (初期濃度 2ppm)

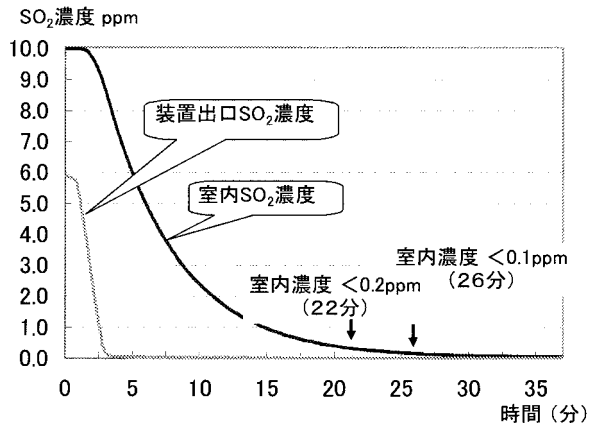


図 8 脱硫性能実験 (装置 B) (初期濃度 10ppm)

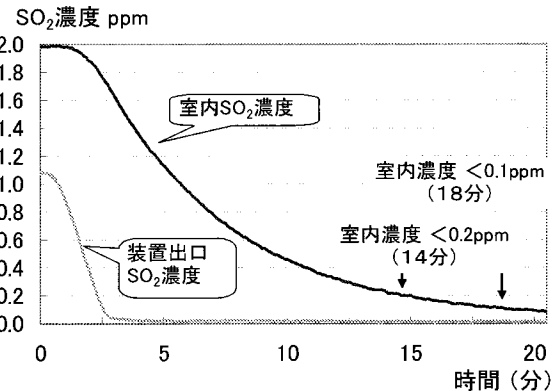


図 9 脱硫性能実験 (装置 B) (初期濃度 2ppm)

一方、初期濃度 2ppm では時間が経過しても除去効率は約 90 % を維持しており、初期濃度 10ppm と 2ppm では、除去効率は明らかに異なっている。光触媒方式は、酸化チタンフィルターに SO₂ ガスを吸着させ紫外線ランプの照射で分解させるものである。このため、吸着と分解とが同時に行われるが、一定濃度以上になると分解が追いつかず SO₂ ガスがフィルターに吸着しないで通過するものと考えられる。

③ 濃度低減速度は、装置 B が最も早く、次いで装置 A、C の順であった。初期濃度 10ppm において室内濃度が 0.2ppm になった時間を比べると装置 B、A、C の順で、22 分、39 分、520 分であった。

室内 SO₂ 濃度の低減速度を 3 機種まとめて図 12 に示した。

装置の除去効率が 100 % だとすると t 時間後の濃度は次式で表され、室内の濃度が半分になる時間としての半減期を求められる。

$$C_t = C_0 \exp(- (V_0/V) t) \dots\dots(1)$$

ただし、C_t : t 時間後の濃度 (ppm)、C₀ 初期濃度 (ppm)、V₀ : 処理風量 (m³/h)、V : 室容積 (m³)、t : 時間 (h)

(1)から $t = - (V/V_0) \ln (C_t/C_0)$ となる。

$$C_t/C_0 = 0.5 \quad \text{とすると、}$$

$$t = 0.693 (V/V_0) \dots\dots(2) \quad \text{を得る。}$$

表 1 の処理風量から求めた換気回数 V₀/V と、図 12 の傾きから求めた換気回数を式 2 に代入し、濃度の半減期を求めた結果を表 2 に示す。装置 A、B の濃度の半減期は初期濃度が異なってもほぼ同じ値で理論値と一致するが、装置 C は初期濃度が 2ppm の場合は理論値に近いが、10ppm の場合は大幅に遅くなっていることがわかる。

表 2 濃度の半減期

装置	初期濃度(ppm)	濃度の半減期(分)	
		実測値	理論値
A	10	6.7	6.0
	2	6.8	6.0
B	10	4.0	3.9
	2	4.0	3.9
C	10	97	37
	2	44	37

ウ 持続性能実験

持続性能実験は、SO₂ 濃度約 20ppm を連続で脱硫装置に供給して脱硫装置出口濃度を測定した。SO₂ ガスの供給方法は装置 A は外気吸引方式としても使用で

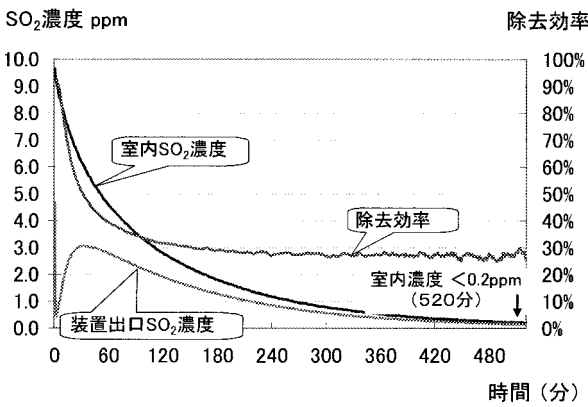


図 10 脱硫性能実験 (装置 C) (初期濃度 10ppm)

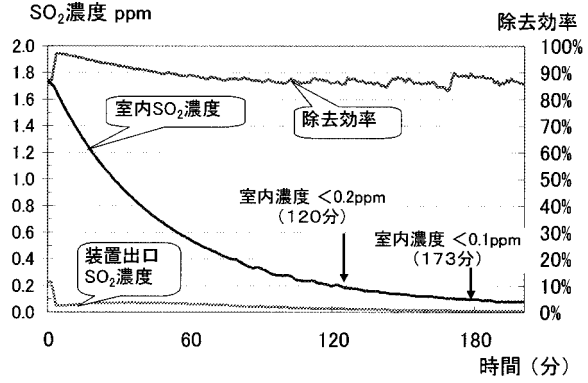


図 11 脱硫性能実験 (装置 C) (初期濃度 2ppm)

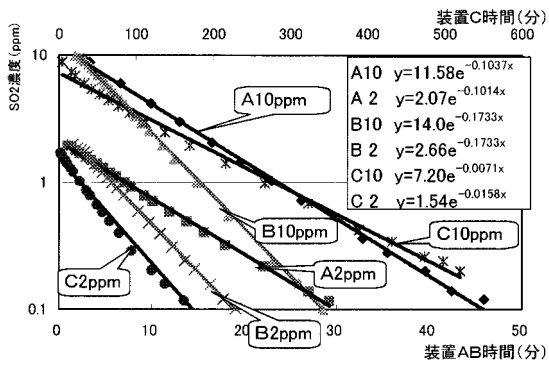


図 12 脱硫性能実験 (3 機種)

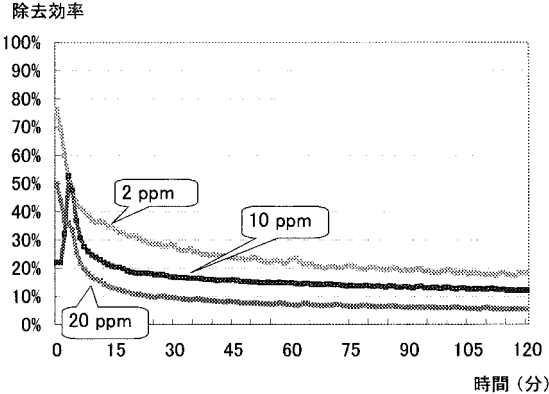


図 13 連続処理実験 (2、10、20ppm)

きるため、SO₂ ガスをダクトから直接脱硫装置入口に供給する方法で、装置Bはプレハブ室内を常時約20ppmに保つ方法で行った。なお、光触媒方式の装置Cは、脱硫性能実験の結果、室内濃度の相違により除去効率が大幅に異なることが判明したので、長時間の持続性能ではなく、SO₂ 濃度を2、10、20ppmの3段階に設定して、濃度の相違と脱硫効率の関係について調べた。

① 活性炭方式（装置A、B）

実験結果を表3に示す。

両装置とも長時間にわたり高い除去効率を保っているが、装置Bの方が装置出口濃度の上昇速度が速く、レベル1濃度である0.2ppmを超えたが、装置Aは10時間後でも0.02ppmであり、レベル1濃度を超えなかった。

両装置の処理風量が異なるので、除去効率だけでは比較ができないが、除去効率の持続時間という観点から、レベル1濃度0.2ppmを確保するためには、明らかに装置Bに比べ装置Aの方が活性炭の持続性能が優れている。

なお、酸化剤添着活性炭の充填量は、装置Aが16kg、装置Bが1.26kgで両装置に差がある。装置Bは空気清浄機を転用したため、別にホルムアルデヒド等のシックハウス対策用の活性炭（改質活性炭）を約5kg充填しているが、この活性炭はSO₂の処理能力はほとんどないと考えられる。

表3 持続性能（時間経過後の除去効率）

装置	入口濃度 (平均)	除去効率	
		5時間後	10時間後
A	22.2ppm	99.9%以上 ($<0.01\text{ppm}$)	99.9% (0.02ppm)
B	18.7ppm	95.6% (0.82ppm)	91.1% (1.66ppm)

* () は装置出口濃度

② 光触媒方式（装置C）

実験結果は図13に示すとおり、各濃度とも除去効率は10分程度までは急激に低下し、それ以降一定になっている。SO₂濃度が2、10、20ppmにおける除去効率は、それぞれ17.5%、12.5%、5.3%でありSO₂濃度が高いほど低く、SO₂を処理する能力を超えていると考えられる。なお、SO₂除去効率は脱硫性能実験の時より低下しているが、これは触媒表面の経時変化によるものと推定される。

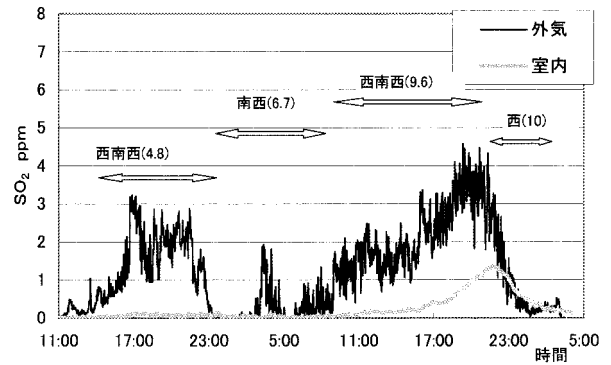


図14 室内外濃度と風向・風速（7/12～14）

*括弧内は風速（m/s）

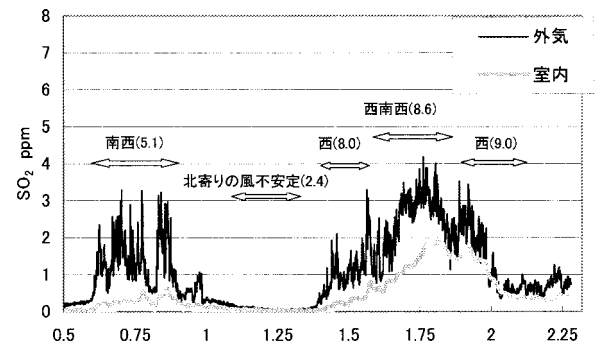


図15 室内外濃度と風向・風速（7/15～17）

*括弧内は風速（m/s）

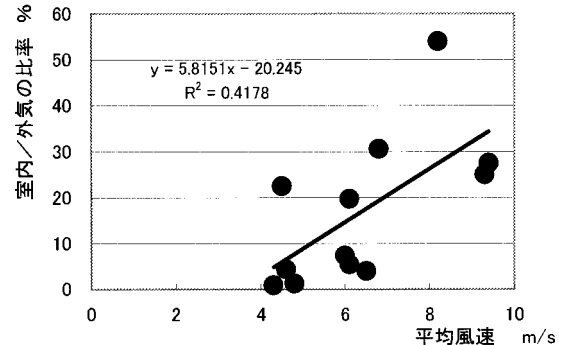


図16 風速と室内濃度比率の関係

(2) 現地実験

室内実験の結果を踏まえ、一部脱硫装置の改良を行った。装置Bは酸化剤添着活性炭の充填量が少なかったため、シックハウス対策用の改質活性炭に替えて、酸化剤添着活性炭を充填し、これまでの活性炭を含めて酸化剤添着活性炭量は6.12kgになった。装置Cは処理風量が小さかったため、1.8 m³/分に増加した。

なお、実験に用いた6畳和室の換気回数（部屋の空気が1時間に何回入れ替わるかという回数）については、三宅村が測定したところ0.51回/時であった。

ア 外気SO₂濃度と室内SO₂濃度の関係

外気のSO₂濃度が高くなった時に、室内へのSO₂ガ

スの流入状況を把握するため、室内に脱硫装置を設置しない状態で、室内外の SO₂ 濃度を連続測定した。

室内外の SO₂ 濃度と風向、風速の状況を図 14、15 に示した。外気 SO₂ 濃度は、風向が西南西を中心として西及び南西の時に上昇した。一方、室内 SO₂ 濃度は、外気 SO₂ 濃度ほど高くなり、外気 SO₂ 濃度が高い時でも室内 SO₂ 濃度が上昇しない時もあった。また、室内 SO₂ 濃度は、外気濃度に比べて濃度変動が小さく、外気濃度が上昇すると、少し遅れて上昇する傾向にあった。

外気 SO₂ 濃度と室内 SO₂ 濃度の関係を図 14 の 7/13 の 20 時頃についてみると、外気の SO₂ 濃度が 4ppm 前後の時に室内 SO₂ 濃度は 1.3ppm 程度であり、室内外 SO₂ 濃度のピークでみた室内 SO₂ 濃度の時間遅れは 150 分程度であった。

室内 SO₂ 濃度の上昇は、基本的には建物の気密性によるが、外気の SO₂ 濃度と、その継続時間、風向・風速等の影響も考えられる。このため、外気 SO₂ 濃度が 0.2ppm 以上で 1 時間以上継続したデータから、平均風速に対する室内平均 SO₂ 濃度と外気平均 SO₂ 濃度の関係を求め図 16 に示した。室内外の SO₂ 濃度比率は、風速が高くなると上昇する傾向がみられた。また、室内 SO₂ 濃度はバラツキがあるものの最大でも外気 SO₂ 濃度の 50 % 程度であった。

外気 SO₂ 濃度と室内 SO₂ 濃度との関係は、建物の気密性の他、風向・風速の影響を受けることからみて開口部の位置や大きさなども関係していると考えられる。

イ 現地住宅での脱硫性能実験

① 活性炭方式（装置 A、B）

実験は A 棟に装置 A、B 棟に装置 B を設置し、同時に 3 週間装置を稼働させ測定したが、外気 SO₂ 濃度が 0.2ppm 以上で 1 時間以上継続したのは 6 回あった。図 17 ～ 20 から外気 SO₂ 濃度が上昇しても室内 SO₂ 濃度は、ほとんど上昇せず室内循環方式で設置しても脱硫効果があることを確認できた。また、表 4 に示すように、外気の SO₂ 濃度の平均は 0.4 ～ 1.9ppm で、最大は 2.9 ～ 7.9ppm であったが、両装置とも室内最大濃度はおおむね 0.1ppm 以下である。装置 B は室内濃度が 0.2ppm 近くまで上昇することもあったが、両装置とも 0.2ppm を超えることはなかった。装置 A に比べ装置 B の方は処理風量が大きいにもかかわらず、室内 SO₂ 濃度が高い傾向があり、装置 A の方が脱硫性

表 4 脱硫性能（装置 A、B）

月日	時間	継続時間	平均風速 (m/s)	外気		装置 A		装置 B	
				平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)
6/22	14:04～20:56	6時間52分	6.7	1.3	3.9	0.04	0.09		
6/23～24	1:37～5:40	28時間03分	5.4	1.9	7.9	0.11	0.11		
6/26～27	10:19～8:58	22時間39分	6.4	1.9	6.0	0.10	0.19		
6/28	5:18～16:39	11時間21分	5.2	0.73	3.7	0.03	0.06		
7/6	16:04～17:06	1時間02分	7.0	0.88	2.9	0.02	0.02		
7/6～8	23:06～6:10	31時間04分	5.7	0.39	2.9	0.06	0.08		

*継続時間については、外気濃度0.2ppm以下が3時間以上継続した場合は別のピークとした。

表 5 脱硫性能（装置 C）

月日	時間	継続時間	平均風速 (m/s)	外気		室内		装置 C	
				平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)	平均濃度 (ppm)	最大濃度 (ppm)
7/15～16	12:08～1:52	13時間44分	4.5	0.89	3.3	0.64	0.15		
7/16～17	9:21～6:43	21時間22分	8.2	1.5	4.2	1.9	0.58		
7/17～19	6:43～3:10	44時間27分	6.8	0.98	3.5	1.0	0.40		

*継続時間については、外気濃度0.2ppm以下が3時間以上継続した場合は別のピークとした。

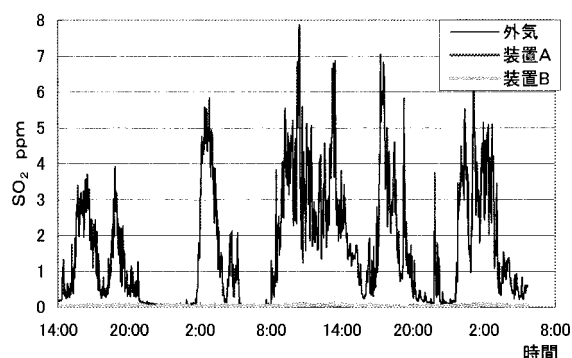


図 17 脱硫性能実験（6/22～24）

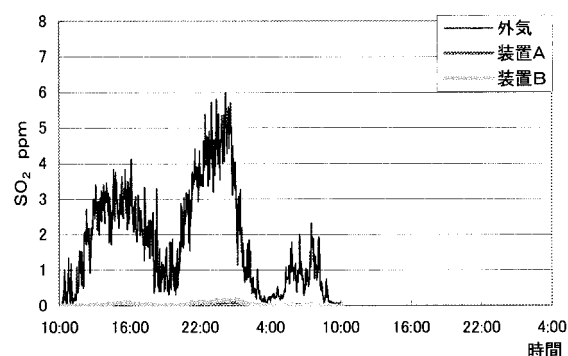


図 18 脱硫性能実験（6/26～27）

能は高いと考えられる。

② 光触媒方式（装置 C）

装置 C については、脱硫装置を設置しない室内についても同時に測定を行った。図 21、22 示すとおり、脱硫装置を設置しない室内 SO₂ 濃度に比べ脱硫装置を

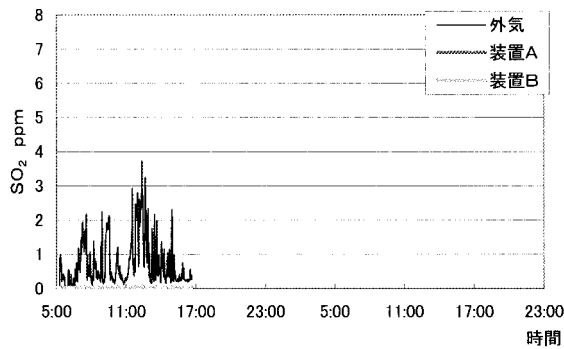


図 19 脱硫性能実験 (6/28)

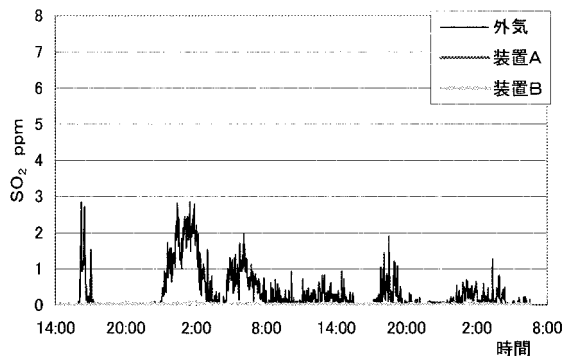


図 20 脱硫性能実験 (7/6 ~ 8)

稼働させた室内の SO₂ 濃度の上昇速度が遅く、その低減効果が確認できた。外気 SO₂ 濃度が 0.2ppm 以上で 1 時間以上継続した時の結果を表 5 に示す。外気 SO₂ 濃度が最も高いときの最大 SO₂ 濃度は 4.2ppm で、脱硫装置を設置しない室内は最大 1.9ppm であったが、脱硫装置を設置している室内は最大 0.58ppm であった。装置 C はレベル 1 濃度 0.2ppm を定常的に下回することは難しいが、一定の効果は認められた。

4 まとめ

小型脱硫装置の性能実験の結果、以下のことが確認できた。

- ① 実験した住宅程度の気密性（換気回数 0.5 回/時）があれば、SO₂ ガスを高効率で除去できる酸化剤添着活性炭を用いた室内循環方式の小型脱硫装置で、SO₂ レベル 1 濃度 0.2ppm 未満を確保できる。
- ② 光触媒方式の小型脱硫装置は、一定の効果が認められるものの、SO₂ レベル 1 濃度 0.2ppm 未満を確保することは難しい。
- ③ 小型脱硫装置を設置しなくても、外気 SO₂ 濃度の高濃度時に室内 SO₂ 濃度は上昇速度が遅くなるだけでなく、濃度レベルも外気濃度の半分程度以下になった。

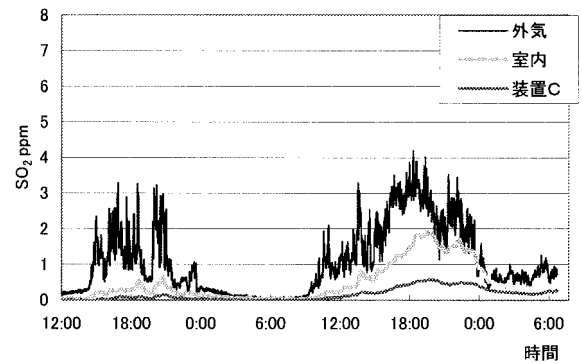


図 21 脱硫性能実験 (7/15 ~ 17)

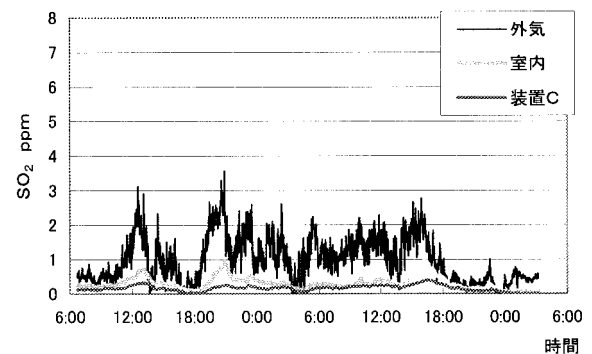


図 22 脱硫性能実験 (7/17 ~ 19)

なお、小型脱硫装置を設置するに際しては、SO₂ 高濃度発生時の一時的な避難場所を確保するための措置であることを認識することが重要である。また、SO₂ ガス濃度の監視体制や連絡体制を整備し、SO₂ ガス発生時に脱硫装置の稼働を徹底させるとともに、高濃度が長時間継続する場合には、低濃度地域や脱硫設備の整った避難施設に退避するなどのきめ細かい措置を取ることも必要である。

参考文献

- 1) 東京都：三宅島火山ガスに関する検討会報告書、平成 15 年 3 月（2003）
- 2) 気象庁：三宅島の火山活動に関する火山噴火予知連絡会統一見解、平成 12 年 11 月 1 日（2000）
- 3) 気象庁：三宅島の火山活動に関する火山噴火予知連絡会統一見解、平成 16 年 10 月 26 日（2004）
- 4) 東京都災害対策本部：三宅島の雄山噴火に伴う高濃度ガス連続自動測定結果について（その 53）（2 月 1 日～2 月 28 日）（2005）
- 5) 上野広行, 中津山憲：三宅島における火山性有害ガス対策、臭気の研究、32（6）、pp.343-347（2001）
- 6) 中浦久雄ら：三宅島 SO₂ ガス除去装置への海水利用、東京都環境科学研究所年報、pp.25-31（2003）