

放射性ヨウ素ガス捕集用
活性炭素繊維製フィルタ 技術資料



はじめに

弊社は東洋紡(株)殿と東京大学殿のご協力を得て、「放射性ヨウ素ガスの捕集」に特化した画期的な活性炭素繊維(WAC: Wakaida Activated Carbon fiber)を開発致しました。

この新素材に各種加工を施して、全く新しい形の活性炭素繊維製フィルタを完成しました。これをWACフィルタと名付けて特許を取得し、放射性ヨウ素捕集用として承認を頂きました。

活性炭素繊維とは、“繊維に粒状活性炭の粉末を添加したり、練り込んだものでは？”

と多くの方が想像されますが、実は繊維自体が活性炭になったものです。従来の「粒状活性炭」に対し「**繊維状活性炭**」と表現すれば、ご納得頂けるものと存じます。

WACフィルタには開発目標であった**軽量・低吸水性**の他、当初の期待値を遥かに超える**高い捕集効率**と**長寿命・焼却減容性**等優れた性能が多数ございます。本冊子では、これら諸特性について各種試験データを織り交ぜ、詳細な解説に努めております。WACフィルタの真実をご理解頂く一助になりますれば幸甚でございます。ご高覧のうえ、ご評価頂きたいと存じます。

貴施設におかれましてもWACフィルタのご採用をご検討賜りますよう、お願い申し上げます。

株式会社 ワカイダ・エンジニアリング

代表取締役 **若井田 靖夫**

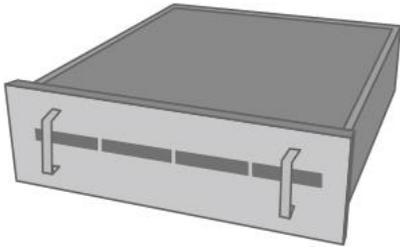
目次

1. 従来の活性炭フィルタの種類と性能	1
2. WACフィルタ 実用化の経緯	2
3. WACフィルタの概要	3
4. 活性炭フィルタの特徴対比	4
5. 活性炭の形状と捕集原理	10
6. WACフィルタの捕集能力	14
7. WACフィルタの各種捕集性能試験	21
8. 焼却・減容性	28
9. WACフィルタの用途	31

1. 従来の活性炭フィルタの種類と性能

活性炭フィルタは、原子炉内で大量に生成された放射性ヨウ素ガスを、事故の際に施設内の捕集装置に閉じ込め、周辺環境中に放出・拡散させないことを目的に開発されました。

①トレイ型粒状活性炭製フィルタ

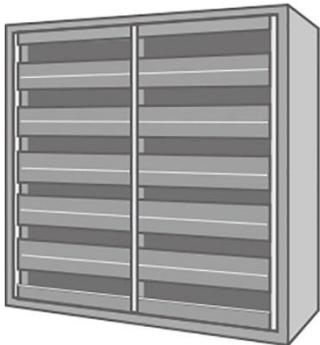


◎椰子殻を炭化⇒破碎⇒賦活し、通気可能な多孔鋼板製容器に充填しています。活性炭の層厚が2インチで通気抵抗が大きいため処理風量が少なく、大変重くなっています。

◎原子力発電所ではトレイ型粒状活性炭製フィルタ(左図)を使用しています。2枚の平行多孔鋼板で作った容器に粒状活性炭を充填し、それを上下2個平行に配置し、開口部から入ったガスが上下の活性炭層を通過する構造にしたものをトレイ型と呼んでいます。

◎処理風量:9.4m³/min 寸法:約610(w)×160(H)×700(L)mm
初期重量:約35kg 終末重量:約70kg NRA承認ヨウ素ガス透過率:10%

②波型粒状活性炭製フィルタ



◎処理風量を増加させるために、ABS製並行多孔板で作った容器に粒状活性炭を充填したユニットを12個使用し、ジグザグに木枠内に組み込んだもので波型と呼んでいます。主に放射性同位元素(RI)使用施設等でヨウ素ガス捕集用に使用されております。

◎活性炭の層厚が1インチで粒状活性炭製フィルタの中で唯一の焼却型です。

◎処理風量:28.3m³/min 寸法:610(W)×610(H)×292(L)mm
初期重量:約40kg 終末重量:約80kg NRA承認ヨウ素ガス透過率:20%

2. WACフィルタ実用化の経緯

- 2001年10月 東洋紡株式会社殿と弊社間で活性炭素繊維製フィルタ共同開発契約を締結
- 2001年11月 東京大学殿と弊社間で放射性ヨウ素捕集性能試験等の受託研究契約を締結
- 2004年12月 放射性ヨウ化メチル捕集試験結果を文部科学省（現 原子力規制委員会：NRA）に提出し、放射性ヨウ素ガス捕集用フィルタとして使用の認可を取得
- 2005年 3月 （社）日本アイソトープ協会の試験結果により、焼却型フィルタの認定を取得
- 2006年10月 （財）原子力安全技術センター（原安C）による安全確認書（平成18年9月通知）における「放射性ヨウ素取扱事業所の定期検査・定期確認に際して」に基き、製造者が推奨する活性炭フィルタの交換時期とその根拠となるデータを提出
- 2007年 4月 原安Cに対し、安全確認書に基づく長寿命型WACフィルタに関するデータを提出
- 2008年 6月 米国にて**ASTM D-3803** に準拠した性能試験で捕集効率 **99:999%以上**を確認
- 2009年 4月 同上試験で多風量型フィルタの捕集効率が**99.999%以上**であることを確認
- 2010年 7月 特許を三者（東洋紡殿・東京大学殿・弊社）共同で取得 **特許第4549388号**

3. WACフィルタの概要

[構造]

WAC(活性炭素繊維製)フィルタは、フェルト状の化学繊維を炭化・活性化処理して活性炭素繊維とし、更に化学反応剤TEDA(Tri-Ethylene Di-Amine)を添着して濾材にします。この濾材を3層(又は2層)重ねにし、炭塵飛散防止用エレクトレットフィルタ(化学繊維製不織布)で挟んで複合シートにした後、ポリエチレンコーティング紙(或いはアルミ箔)製スペーサーを介して蛇腹状に折りたたみ、木(或いはアルミ)製の枠に組み込んだものです。

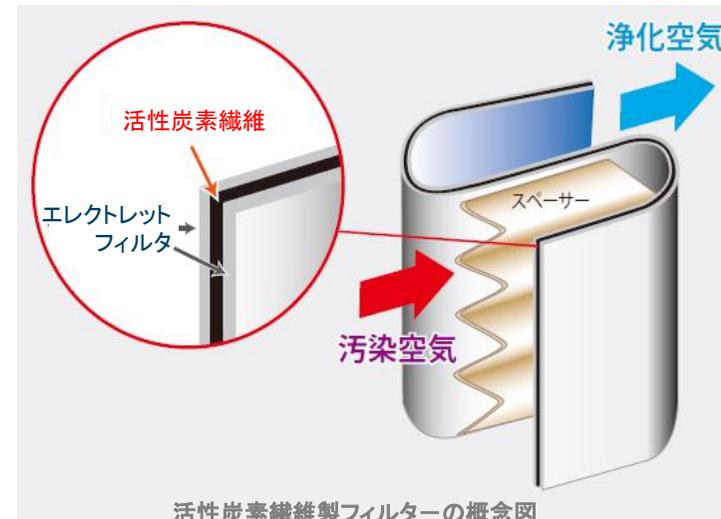
[特徴]

活性炭素繊維(WAC:Type-K、TEDA添着、3層)は米国試験規格(ASTM D-3803)に準拠した捕集効率試験において、放射性ヨウ化メチル($\text{CH}_3^* \text{I}$)捕集効率が **99.999%以上**という突出した性能を有していることが確認されました。

また高湿度(95%)雰囲気中でも捕集効率は安定しており、水分を殆ど吸収せず、ウェザリング(風化)が極めて少ないことが判明し、**高捕集効率が長時間持続**するという特長を備えております。

この活性炭素繊維を使用して製作したWACフィルタの重量は従来の粒状活性炭製フィルタの**1/3以下**で、運搬や交換作業が格段に安全且つ能率良く行える様になりました。

WACフィルタは素材の99%以上が燃やしても安全な材料で作られておりますので、**焼却処理**が可能です。焼却後の体積は焼却前の約**1/1,100**以下になるため、将来の放射性廃棄物処理コストを大幅に軽減できるものと期待されております。



4. 粒状活性炭フィルタとの特徴対比

特徴対比表 1 標準型WACフィルタ 対 波型粒状活性炭製フィルタ

比較項目			標準型WACフィルタ WAC-292(90)	波型粒状活性炭製フィルタ 層厚 1 inch 国内某社
1	寸法	mm	610×610×292	610×610×292
2	容積	ℓ	108.7	108.7
3	初期総重量	kg	13	40
4	終末総重量	kg	13	80
5	処理風量	m ³ /min	28.0	28.3
6	圧力損失(初期)	Pa	240±40	254以下
7	活性炭の種類		活性炭素繊維	粒状活性炭
8	原料		化学繊維	天然椰子殻
9	捕集細孔半径	nm	0.4~1.0	0.4~10,000
10	濾材面積	m ²	6.0	1.35
11	活性炭層厚	mm	10.5 (Type-K × 3層)	25.4
12	添着剤	重量%	TEDA 10%	TEDA 3% KI+I ₂ 2%
13	活性炭重量	Kg	6.73	21

14	濾材通過面速	m/sec	0.08	0.35
15	濾材通過時間	sec.	0.13	0.07
16	CH ₃ I 捕集効率 (ASTM D-3803)	%	99.999%以上	97.82%以上
17	NRA認定透過率	%	0.1	0.2
18	ウェザリング影響		360日後 98%以上	120日後 98%
19	推奨交換時期	年	3年(8hr/day)	1年(8hr/day)
20	外 枠 材		合板	合板
21	濾材保持方法		接着剤・紙スペーサー	樹脂製多孔板箱
22	発 火 点	°C	421	487.8
23	使用後の処理		焼却処理可能	焼却処理可能
24	焼却後の容積		1/1,100以下	1/94
25	品質保持		化学繊維・常時品質が一定	天然素材・年々品質が異なる
26	湿度95%時の捕集効率	%	99.999以上(CH ₃ I)	82%以下(CH ₃ I)
27	吸着物の脱離		脱離は極少	脱離の発生率大
28	濾材の変形		小振動で変形なし	振動で粒が偏る。炭塵発生
29	取扱難易度		運搬・取扱いが容易	運搬・取扱いが困難

特徴対比表 2 トレイ型WACフィルタ 対 トレイ型粒状活性炭製フィルタ

比較項目			トレイ型WACフィルタ WAC-T(WAC-T-NC)	トレイ型粒状活性炭製フィルタ 2 inch ベッド 国内某社
1	寸 法(約)	mm	610 × 700 × 160	616 × 700 × 160
2	容 積(約)	ℓ	69.0	69.0
3	初期総重量	kg	9	37
4	終末総重量	kg	9	70
5	処理風量	m ³ /min	9.5	9.4
6	圧力損失(初期)	Pa	350 ± 50	294
7	活性炭の種類		活性炭素繊維	粒状活性炭
8	原 料		化学繊維	天然椰子殻
9	捕集細孔半径	nm	0.4~1.0	0.4~10000
10	濾材面積	m ²	2.0	0.7
11	活性炭層厚	mm	10.5 (Type-K × 3層)	50.8
12	添着剤	重量%	TEDA 10%	TEDA 3% KI+I ₂ 2%
13	活性炭重量	kg	3.33	19

14	濾材通過面速	m/sec	0.08	0.22
15	濾材通過時間	sec.	0.13	0.23
16	CH ₃ I 捕集効率 (ASTM D-3803)	%	99.999%以上(初期)	99.82%(初期)
17	NRA認定透過率	%	0.1	0.1
18	ウェザリング影響		360日後98%以上	120日後98%
19	推奨交換時期	年	3年(8hr/day)	1年(8hr/day)
20	外枠材		難燃合板(NC型はアルミ)	SS板又はSUS板
21	濾材保持方法		接着剤・スペーサー	同上製多孔板箱
22	発火点	°C	421	487.8
23	使用後の処理		焼却処理可能	焼却不可(保管廃棄)
24	焼却後の減容比		1/300以下	—
25	品質保持		化学繊維・常時品質が一定	天然素材・年々品質が異なる
26	湿度95%時の捕集効率	%	99.999以上(CH ₃ I)	82%以下(CH ₃ I)
29	吸着物の脱離		脱離は極少	脱離の発生率大
28	濾材の変形		小振動で変化なし	振動で偏る。炭塵発生
29	取扱難易度		運搬・取扱いが容易	運搬・取扱いが困難

特徴対比表 3 多風量型WACフィルタ 対 トレイ型粒状活性炭製フィルタ

比較項目			多風量型WACフィルタ WAC-292W	トレイ型粒状活性炭製フィルタ 2 inch ベッド 国内某社
1	寸 法	mm	610 × 610 × 292	616 × 700 × 160
2	容 積	ℓ	108.7	69.0
3	初期総重量	kg	12	35
4	終末総重量	kg	12	70
5	処理風量	m ³ /min	50	9.4
6	圧力損失(初期)	Pa	350 ± 60	294
7	活性炭の種類		活性炭素繊維	粒状活性炭
8	原 料		化学繊維	天然椰子殻
9	吸着孔半径	nm	0.4~1.0	0.4~10000
10	濾材面積	m ²	6.1	0.7
11	活性炭層厚	mm	7.0 (Type-K × 2層)	50.8
12	添着剤	重量%	TEDA 10%	TEDA 3% KI+I ₂ 2%
13	活性炭重量	kg	6.73	19

14	濾材通過面速	m/sec	0.14	0.39
15	濾材通過時間	sec.	0.13	0.23
16	CH ₃ I 捕集効率	%	99.999%以上	99.82%(初期)
17	NRA認定透過率	%	0.1	0.1
18	ウェザリング影響		360日後98%以上	120日後97%
19	推奨交換時期	年	3年(8hr/day)	1年(8hr/day)
20	外枠材		難燃合板(NC型はアルミ枠)	SS板又はSUS板
21	濾材保持方法		接着剤・スペーサー	同上製多孔板箱
22	発火点	℃	421	487.8
23	使用後の処理		焼却処理可能	焼却不可(保管廃棄)
24	焼却後の減容比		1/1,169(NC型は1/314)	—
25	品質保持		化学繊維・常時品質が一定	天然素材・年々品質が異なる
26	湿度95%時の捕集効率	%	99.999%以上(CH ₃ I)	捕集効率82%(CH ₃ I)
27	吸着物の脱離		脱離は極少	脱離の発生率大
28	濾材の変形		小振動で変化なし	振動で偏る。炭塵発生
29	取扱難易度		運搬・取扱いが容易	運搬・取扱いが困難

5. 活性炭の形状と捕集原理

(1) 外観

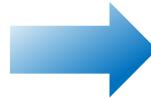
2

粒状活性炭

原料が天然素材の椰子殻である為、産年により品質が異なる

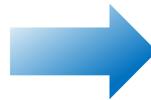


黒く硬い部分を使用



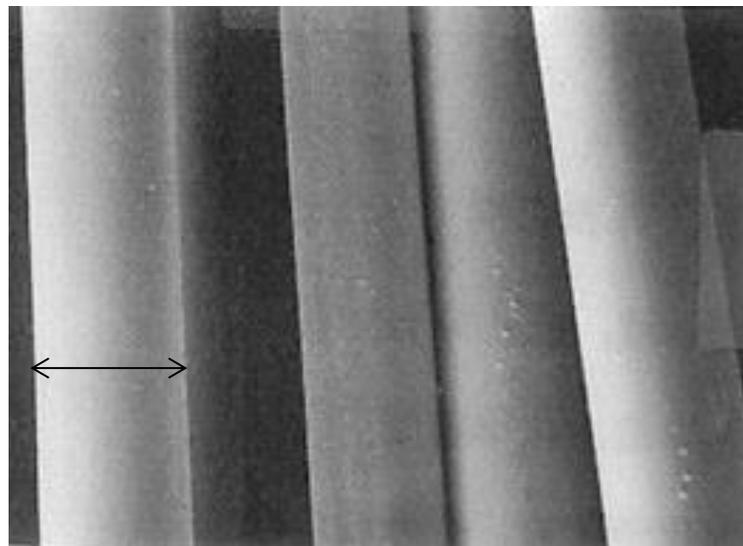
活性炭素繊維

原料が化学繊維の為、常に品質が一定



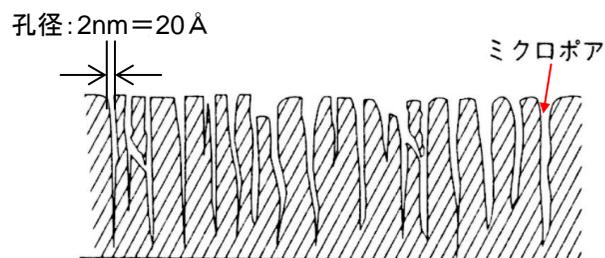
(2) 顕微鏡拡大写真

活性炭素繊維



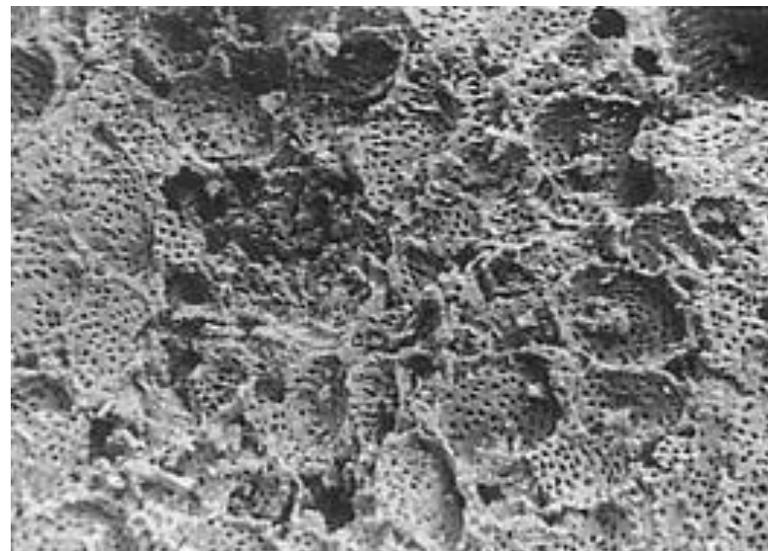
(直径: $\sim 13\mu\text{m}$)

1,200倍

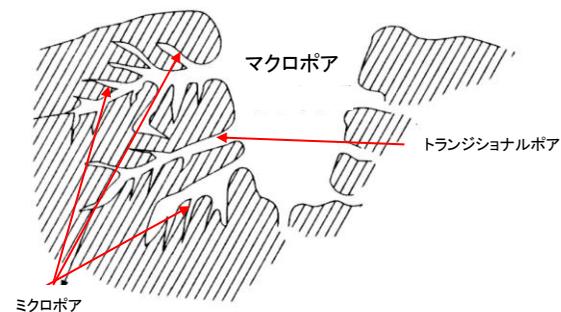


1,200倍に拡大しても表面は極めて平滑で均質な繊維状です。
マクロポアやトランジショナルポアは存在せず、放射性ヨウ素吸着に有効なミクロポアのみです。

粒状活性炭



100倍



大小さまざまな口径の孔が存在しますが、ミクロポアは見えません。
水分を取り込みやすいマクロポアが表面に多数あります。写真で小さな点がマクロポアです。

(3) 細孔の種類

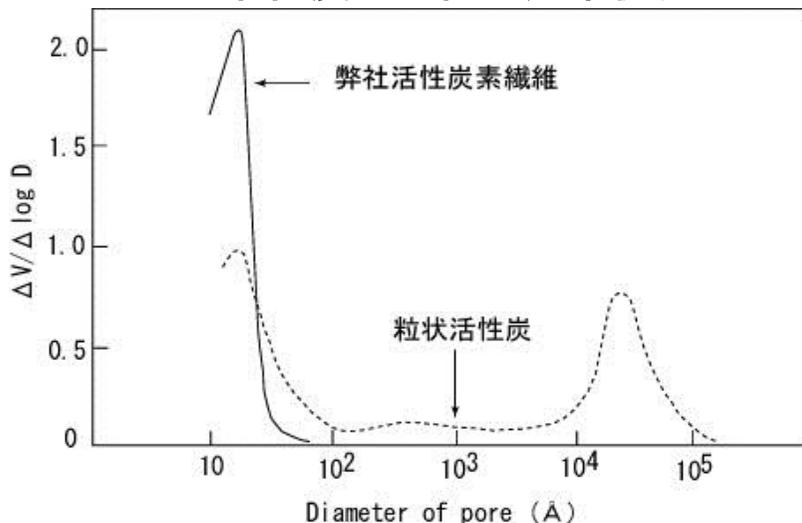
- ①マクロポア : 直径 50nm ~ 100,000nm 平均2,500nmで、吸着物質を外部から内部へ取り込む役割をしますが、放射性ヨウ素ガスは吸着せず、専ら水滴を取り込んでしまうため、むしろ吸着物質が奥の細孔に到達することを阻害します。
- ②トランジショナルポア : 直径 2nm~50nm で、主に吸着物質を奥のミクロポアまで送り込む役割をします。一部は放射性ヨウ素の吸着にも関与します。
- ③ミクロポア : 直径約 2nm で、その殆どが放射性ヨウ素の吸着に寄与し、捕集性能を支配しています。

④細孔の単位重量当たりの表面積

粒状活性炭の全ポアの比表面積は 900 ~ 1,500 m^2/g であると言われておりますが、その大部分をマクロポアとトランジショナルポアが占めており、ミクロポアだけの内表面積は全内表面積の数%と言われております。

一方、活性炭素繊維の細孔は全てが均一なミクロポアで形成されており、比表面積は1,000 ~ 2,000 m^2/g と大きく、単位重量当たり、ミクロポアの数 は粒状活性炭の数倍以上になります。

活性炭の孔径の分布状況



(4)ヨウ素ガス捕集原理

① 物理吸着

活性炭が空気中の臭気や水中の有害物質を除去する原理は、活性炭の内部表面にある多数の細孔の中に匂い分子や不純物を取込み、確実に捕獲するからです。

放射性ヨウ素ガスが吸着される原理も同様で、活性炭の内部にある無数のマイクロポアの中に放射性ヨウ素ガスが嵌り込み、長時間捕獲された状態になります。これを物理吸着といいます。

放射性ヨウ素ガスが無機か有機かで吸着度合いは大きく異なります。無機の放射性ヨウ素ガスは物理吸着で殆ど活性炭に捕集されますが、**有機の放射性ヨウ素ガスは殆ど物理吸着されません。**

② 化学吸着

有機の放射性ヨウ素ガスの場合は、非放射性ヨウ素を含む化学物質を活性炭に添着することで、**同位体交換反応**によりマイクロポア内に放射性ヨウ素が保持されます。

一方、ヨウ素を含まない化学物質を添着すると、放射性ヨウ化メチルガスは分子間引力(Van der Waals 力)によってマイクロポア内に強く引き込まれた後、細孔を触媒とした化学反応で**添着剤と化合し**、安定化して活性炭内に保持されます。

これら化学反応で細孔内に捕集するメカニズムを化学吸着といいます。化学吸着は添着剤と反応する物質のみを選択し、反応は不可逆的です。

6. WACフィルタの捕集能力

弊社が開発したWACフィルタは、粒状活性炭製フィルタに較べて格段に高いヨウ化メチル捕集能力を備えています。

■吸着面積が大きい

活性炭素繊維の細孔は全てが吸着に寄与するマイクロポアで、その表面積は1,000～2,000 m² /gとされており、マイクロポアの数も粒状活性炭の200倍以上になります。

■通風面積が大きい

WACフィルタの濾材は薄くて(1層当たり3.5mm^t)弾力性が有るため、蛇腹折りにして通風面積(濾材面積)の大きなフィルタを作れます。その結果、吸着物の濾材通過速度が遅くなることから、吸着反応の機会が増加して、捕集効率の上昇が期待できます。また、処理風量を大きくすることが可能です。因みに、通風面積は粒状活性炭製フィルタの4倍以上になっております。

■捕集効率が低い

WACフィルタの捕集効率試験の結果を次ページ以降に紹介いたします。そこには、ヨウ化メチル捕集効率が99.999%以上であることが証明されております。また、原子力分野に適用のための捕集効率要求値を完全にクリアしております。

(1) 活性炭フィルタ捕集効率試験の規格

日本には放射性物質除去用活性炭の性能規格は有りません。
米国の「原子力グレード活性炭の標準的な試験方法」**ASTM D-3803** が事実上の世界基準
(但し初期効率のみ)となっております。
本来は粒状活性炭用の試験規格ですが、敢えてWACフィルタに適用しました。

試験条件

Pre-equilibration Time(平衡調整準備時間)	960 分 (16時間)
Equilibration Time(平衡調整時間)	120 分 (2時間)
Challenge Time(試験物質投入時間)	60 分 (1時間)
Elution Time(脱離分処理時間)	60 分 (1時間)
Challenge Agent(試験物質)	CH ₃ ¹³¹ I (放射性ヨウ化メチル)
CH ₃ I Concentration(ヨウ化メチル濃度)	1.75mg/m ³
Challenge Temperature(試験温度)	30 °C
Relative Humidity(相対湿度)	95 %

原子力産業適応のための捕集効率要求値 (**ASME AG -1**): 97%以上

WACフィルタを ASTM D-3803 により試験した結果、放射性ヨウ化メチル捕集効率は**99.999%**以上であり、上記の要求値を完璧にクリアしております。
これは、全世界の活性炭フィルタ製品の試験成績を上回っております。(2016.4.1現在)

ASTM: American Society for Testing and Materials
ASME: American Society of Mechanical Engineers

(2) 粒状活性炭の捕集効率試験結果(ASTM D-3803)



NCS CORPORATION
 1385 West Goodale Boulevard Columbus, Ohio 43212
 Tel. 614-340-3700
 FAX 614-340-3707

RADIOIODINE RETENTION / PENETRATION / EFFICIENCY TEST REPORT

CLIENT _____ PURCHASE ORDER NO. _____
 _____ TEST REPORT NO. _____
 _____ SAMPLE NO. _____

SAMPLE IDENTITY _____
 Date Sampled N/A Date Tested _____

TEST CONDITIONS: TEST METHOD: Run per ASTM D3803-1989
 Temperature 30 °C Duration of Post Sweep 60 minutes
 Pressure 101 kPa Pre-Equilibration Time 16 hours
 Relative Humidity 95% I¹³¹ Content 0.2 uci
 Face Velocity 12.2 m/min. Chemical Form I¹³¹ Methyl iodide
 Adsorbate Concentration 1.75 mg/m3 Equilibration Time 120 Minutes
 Duration of Loading 60 minutes S.D. Total Counting Error 0.006 %

RADIOIODINE TEST RESULTS AT:	% RETENTION	%PENETRATION	%EFFICIENCY
1"	_____ %	_____ %	_____ %
2"	_____ %	0.18 %	99.82 %
4"	_____ %	_____ %	_____ %
	_____ %	_____ %	_____ %

Standard Deviation
 1st 2" Canister 73.487
 2nd 2" Canister 3.035
 3rd 2" Canister 0.866
 4th 2" Canister N/A

NCS Distribution
 (1) Lab File
 (1) QA File

CERTIFICATE OF CONFORMANCE

The above test was performed in accordance with current revision of NCS-175
 and with the above referenced purchase order.

Calvin E. Myer Res 8/2000
 APPROVED BY/TITLE _____ DATE _____

TEST PERFORMED _____
 F-005, Rev. 10 5/03

米国粒状活性炭メーカーが実施した 性能試験の結果

面速 cm/sec	20
層の厚さ	5.08cm (2 inches)
ASTM D-3803 捕集効率	99.82%
透過率	0.18%

(3)WACフィルタの捕集効率試験結果(ASTM D-3803)

標準型WACフィルタ(3層)として商品化



NUCON International, Inc.

I-Lab ID# **R322**
 Client: **WAKAIDA ENGINEERING, INC.**
 Plant:
 Sample ID: **ACF TYPE-K FILTER**
 System ID:

NUCON **13FUTO3137/1**
 P.O. **N/A**
 Rel. No.:
 Test Date: **24 Jun 2008**

Standard(s): **ASTM D3803-1989**

Parameter	Nominal Conditions ¹	Actual Conditions ²
Pre-Equilibration Time (min)	960	960
Equilibration Time (min)	120	120
Challenge Time (min)	60	60
Elution Time (min)	60	60
Challenge Agent	CH3I	CH3I
Agent Concentration (mg/m ³)	1.75	1.75
Test Bed Depth (mm)	3.5*	3.5
Test Bed Diameter (mm)	57	57
Number of Beds	6*	6
Pre-Equilibration Temp. (°C)	30	30.02 ± 0.02
Equilibration Temp. (°C)	30	30.03 ± 0.03
Challenge Temp. (°C)	30	30.03 ± 0.03
Elution Temp. (°C)	30	30.03 ± 0.02
Velocity (m/min)	4.8*	4.80 ± 0.00
Relative Humidity (%)	95	94.73 ± 0.82
Pressure (kPa)	101.3	98.98 ± 0.05

¹Tolerances are in accordance with the listed test method(s) and NUCON 13-248 Rev. 2.
²Actual Value or Time Weighted Average ± Standard Deviation as applicable.
 * Denotes a condition specified by the client that is an exception to the test method(s).

Test Results ³			
Actual & Standard Deviation			
	Bed 1		Bed 4
Penetration	0.570% ± 0.026	Penetration	<0.001% ± 0.008
Efficiency	99.430% ± 0.026	Efficiency	>99.999% ± 0.008
	Bed 2		Bed 5
Penetration	0.008% ± 0.017	Penetration	<0.001% ± 0.008
Efficiency	99.992% ± 0.017	Efficiency	>99.999% ± 0.017
	Bed 3		Bed 6
Penetration	<0.001% ± 0.013	Penetration	<0.001% ± 0.008
Efficiency	>99.999% ± 0.013	Efficiency	>99.999% ± 0.008

³The standard deviation indicated above is associated with the precision of the radio-iodine measurement process. The actual accuracy of the penetration result must be estimated from interlaboratory bias and precision data used to support the ASTM standard. For the ASTM standard, this data indicates that for laboratories which rigorously follow the test method, the relative standard deviation of a 1% penetration result is approximately ±25% and of a 10% penetration result is approximately ±5%. (Ref. ASTM D3803-1989)

Performed By: Gregory J. Glasco Date: 30 June 2008
 Gregory J. Glasco ANSI N45.2.6 Level II since Oct 2002

Approved By: Joseph C. Ennecking Date: 30 Jun 08
 Joseph C. Ennecking ANSI N45.2.6 Level III since June 1987

面速 cm/sec	8
層の厚さ(層数)	1.05cm (3層)
ASTM D-3803 捕集効率%	99.999%以上
透過率	< 0.001%

次ページの
 面速 15cm/sec及び20cm/sec
 の試験に於いても捕集効率は99.999%
 以上であったことから

ASTM D-3803 の趣旨に沿った試験を米国 NUCON社に依頼

多風量型WACフィルタの開発へ

面速 9 m/min = 15 cm/s での試験結果



NUCON International, Inc.

I-Lab ID# **R838**
 Client: **Wakaida Engineering Inc**
 Plant:
 Sample ID: **ACF TYPE-K FILTER**
 System ID:

NUCON **13FUTO3518/1**
 P.O. **13027**
 Rel. No.:
 Test Date: **29-Apr-2009**

Standard(s): **ASTM D3803-1989**

Parameter	Nominal Conditions ¹	Actual Conditions ²
Pre-Equilibration Time (min)	960	960
Equilibration Time (min)	120	120
Challenge Time (min)	60	60
Elution Time (min)	60	60
Challenge Agent	CH3I	CH3I
Agent Concentration (mg/m ³)	1.75	1.75
Test Bed Depth (mm)	3.5*	3.5
Test Bed Diameter (mm)	50	50
Number of Beds	6*	6
Pre-Equilibration Temp. (°C)	30	29.93 ± 0.04
Equilibration Temp. (°C)	30	29.94 ± 0.05
Challenge Temp. (°C)	30	29.93 ± 0.05
Elution Temp. (°C)	30	29.94 ± 0.04
Velocity (m/min)	9*	9.00 ± 0.00
Relative Humidity (%)	95	94.79 ± 0.06
Pressure (kPa)	101.3	100.79 ± 0.19

¹Tolerances are in accordance with the listed test method(s) and NUCON 13-248 Rev. 2.
²Actual Value or Time Weighted Average ± Standard Deviation as applicable
 * Denotes a condition specified by the client that is an exception to the test method(s).

Test Results³

Actual & Standard Deviation

	Bed 1	Bed 4
Penetration	0.164% ± 0.004	<0.001% ± 0.000
Efficiency	99.836% ± 0.004	>99.999% ± 0.000
	Bed 2	Bed 5
Penetration	<0.001% ± 0.000	<0.001% ± 0.000
Efficiency	>99.999% ± 0.000	>99.999% ± 0.000
	Bed 3	Bed 6
Penetration	<0.001% ± 0.000	<0.001% ± 0.000
Efficiency	>99.999% ± 0.000	>99.999% ± 0.000

³The standard deviation indicated above is associated with the precision of the radio-iodine measurement process. The actual accuracy of the penetration result must be estimated from interlaboratory bias and precision data used to support the ASTM standard. For the ASTM standard, this data indicates that for laboratories which rigorously follow the test method, the relative standard deviation of a 1% penetration result is approximately ±25% and of a 10% penetration result is approximately ±6%. (Ref. ASTM D3808-1989)

Performed By Lucas A. Prumel Date 21 May 2009
Gregory J. Glaseo
 LUCAS PRUMEL ANSI N45.2.6 Level II since Oct 2002
 Approved By Curtis E. Graves Date 01 May 2009
Curtis E. Graves ANSI N45.2.6 Level III Since Sept 1986

多風量型 (50m³/min) で使用可能

面速 12 m/min = 20 cm/s での試験結果



NUCON International, Inc.

I-Lab ID# **R839**
 Client: **Wakaida Engineering Inc**
 Plant:
 Sample ID: **ACF TYPE-K FILTER**
 System ID:

NUCON **13FUTO3518/2**
 P.O. **13027**
 Rel. No.:
 Test Date: **30-Apr-2009**

Standard(s): **ASTM D3803-1989**

Parameter	Nominal Conditions ¹	Actual Conditions ²
Pre-Equilibration Time (min)	960	960
Equilibration Time (min)	120	120
Challenge Time (min)	60	60
Elution Time (min)	60	60
Challenge Agent	CH3I	CH3I
Agent Concentration (mg/m ³)	1.75	1.75
Test Bed Depth (mm)	3.5*	3.5
Test Bed Diameter (mm)	50	50
Number of Beds	6*	6
Pre-Equilibration Temp. (°C)	30	29.95 ± 0.04
Equilibration Temp. (°C)	30	29.96 ± 0.04
Challenge Temp. (°C)	30	29.96 ± 0.04
Elution Temp. (°C)	30	29.96 ± 0.04
Velocity (m/min)	12*	12.00 ± 0.03
Relative Humidity (%)	95	94.78 ± 0.07
Pressure (kPa)	101.3	102.26 ± 0.09

¹Tolerances are in accordance with the listed test method(s) and NUCON 13-248 Rev. 2.
²Actual Value or Time Weighted Average ± Standard Deviation as applicable
 * Denotes a condition specified by the client that is an exception to the test method(s).

Test Results³

Actual & Standard Deviation

	Bed 1	Bed 4
Penetration	0.403% ± 0.005	<0.001% ± 0.000
Efficiency	99.597% ± 0.005	>99.999% ± 0.000
	Bed 2	Bed 5
Penetration	<0.001% ± 0.000	<0.001% ± 0.000
Efficiency	>99.999% ± 0.000	>99.999% ± 0.000
	Bed 3	Bed 6
Penetration	<0.001% ± 0.000	<0.001% ± 0.000
Efficiency	>99.999% ± 0.000	>99.999% ± 0.000

³The standard deviation indicated above is associated with the precision of the radio-iodine measurement process. The actual accuracy of the penetration result must be estimated from interlaboratory bias and precision data used to support the ASTM standard. For the ASTM standard, this data indicates that for laboratories which rigorously follow the test method, the relative standard deviation of a 1% penetration result is approximately ±25% and of a 10% penetration result is approximately ±6%. (Ref. ASTM D3808-1989)

Performed By Lucas A. Prumel Date 1 May 2009
Gregory J. Glaseo
 LUCAS PRUMEL ANSI N45.2.6 Level II since Oct 2002
 Approved By Curtis E. Graves Date 01 May 2009
Curtis E. Graves ANSI N45.2.6 Level III Since Sept 1986

トレイ型でも多風量処理が可能

(4) 活性炭フィルタの捕集効率試験結果

温度30℃、湿度95%の条件で行ったヨウ化メチル(CH₃I)捕集効率試験の結果(初期効率)は次のとおりです。(ASTM D-3803 :1989 標準)

■ 粒状活性炭製フィルタ

トレイ型2インチベッド(9.4m³/min)の効率 99.82%

■ WACフィルタ

標準型WACフィルタ(28m³/min)の効率 99.999% 以上

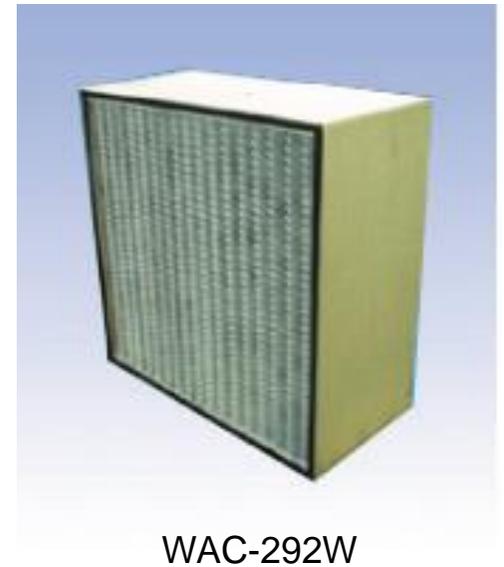
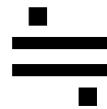
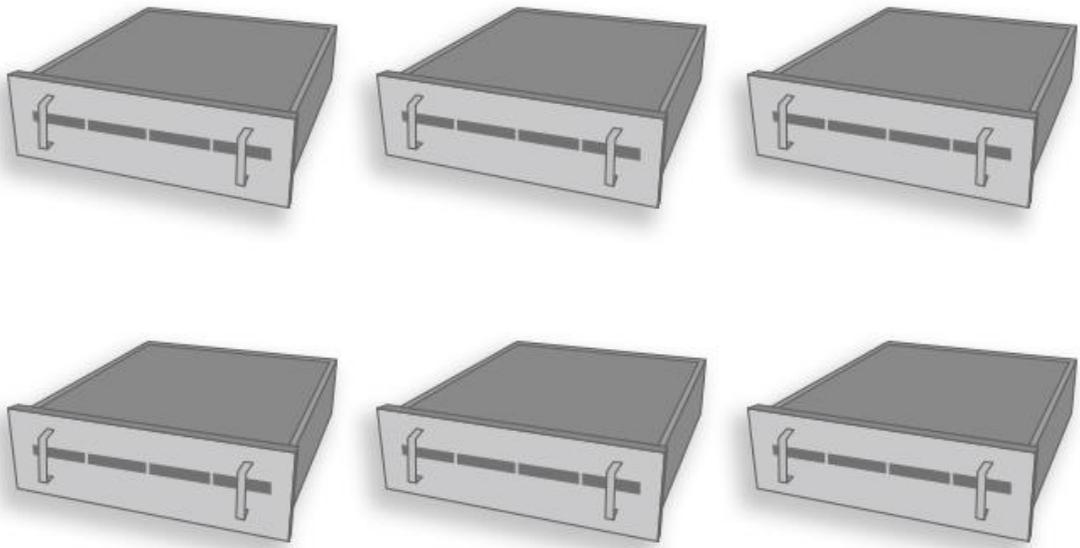
トレイ型WACフィルタ(9.5m³/min)の効率 99.999% 以上

多風量型WACフィルタ(50m³/min)の効率 99.999% 以上

多風量薄型WACフィルタ(28m³/min)の効率 99.999% 以上

(5) 捕集能力の比較

多風量型 活性炭素繊維製フィルタ (WAC-292W) 1台は
処理風量で比較すると : $50\text{m}^3/\text{min} \div 9.4\text{m}^3/\text{min} = 5.32 \Rightarrow$ **6台分**
トレイ型粒状活性炭製フィルタ (2インチベッド) **6台分**の処理能力があります。



7. WACフィルタの各種性能試験

(1) 静的捕集試験

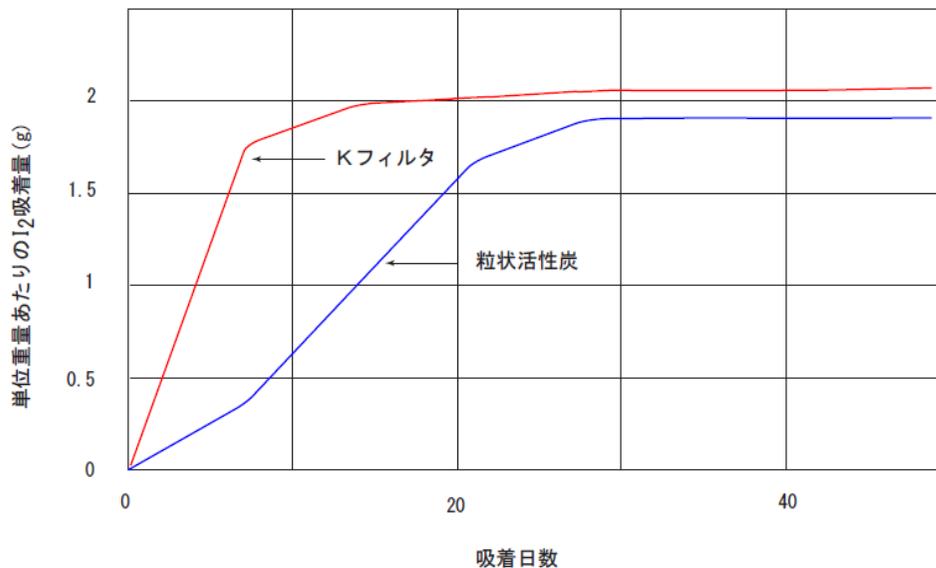
試験方法

活性炭素繊維と粒状活性炭をヨウ素ガスを満たしたデシケータ内に静置して、一定時間経過後の重量変化を調べました。重量増分が捕集されたヨウ素ガスの重量であるとし、計算によりヨウ素の捕集量を確認します。

試験結果

活性炭素繊維は**15日間**で飽和状態に、粒状活性炭は**30日間**で飽和状態になりました。活性炭素繊維の捕集反応速度は非常に速く、初期段階では粒状活性炭の3倍以上になっていました。活性炭素繊維のヨウ素捕集量は $83\text{TBq}/\text{cm}^2$ 相当でした。

活性炭素繊維と粒状活性炭の I_2 静的捕集試験



デシケータ内でヨウ化メチルを静的に吸着
(Type-K: 捕集材料試験)

(2) 動的試験

1) 破過試験

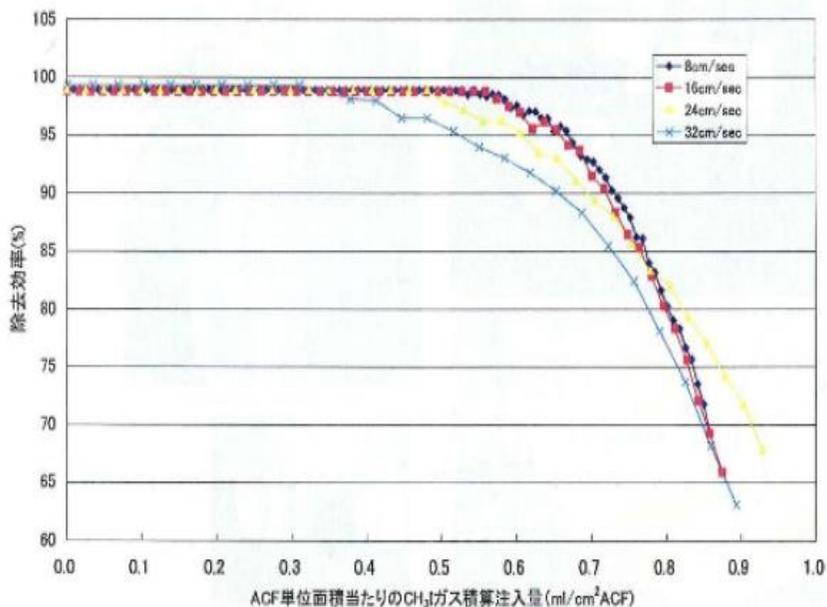
試験方法

フィルタの上流からヨウ化メチルを流し、フィルタを透過して下流に出てくるヨウ化メチルが上流側濃度の1%になったことを検出して、破過したことを確認します。

試験結果

WACフィルタ(WAC-292)が破過するまでの総ヨウ素捕集量を計算すると、882PBq になりました。

繊維状活性炭フィルターの破過試験



WACフィルタの総ヨウ素捕集量の算出

左のグラフより、捕集効率が99%に低下するまで(破過時)の総ヨウ素捕集量は、0.55ml/cm²でした。

1モルの分子数は 6.0×10^{23} 個(アボガドロ数)で、ガスの体積は 22.4×10^3 ml ですから、

1cm² 当たりに捕集された 0.55ml のヨウ化メチルの分子数は

$$6.0 \times 10^{23} \times 0.55 / (22.4 \times 10^3) = 1.47 \times 10^{19} \text{ 個になります。}$$

従って、ヨウ素原子の個数も 1.47×10^{19} 個となります。

次に¹³¹Iの放射能を求めます。¹³¹Iの半減期は 8.02日 = 692,928秒であり、放射能の公式 $dN/dt = \lambda N = (0.693/T)N$ に代入します。

ここで、 λ : 壊変定数 = $0.693/T$ 、 T : 半減期(秒)、 N : 原子数です。

$$^{131}\text{Iの放射能} = (0.693/692,928) \times 1.47 \times 10^{19} = 1.47 \times 10^{13} \text{ Bq/cm}^2$$

WAC-292 フィルタ1台の濾材面積が $6\text{m}^2 = 60,000\text{cm}^2$ ですから、

$$1.47 \times 10^{13} \text{ Bq/cm}^2 \times 60,000\text{cm}^2 = 8.82 \times 10^{17} \text{ Bq} = 882\text{PBq}$$

即ち、WAC-292 1台の¹³¹I 総捕集量は882PBqになります。

2) 脱離試験

放射性ヨウ化メチルを捕集したWACフィルタから CH_3^*I が脱離した量と経過時間について 試験した結果は次の通りです。

試験方法

放射性ヨウ素を捕集した活性炭素製繊維製フィルタの上流から、非放射性 CH_3I (濃度3%)を流量20ml/minで40sec 注入して、フィルタから CH_3^*I が脱離する量と経過時間を調べました。

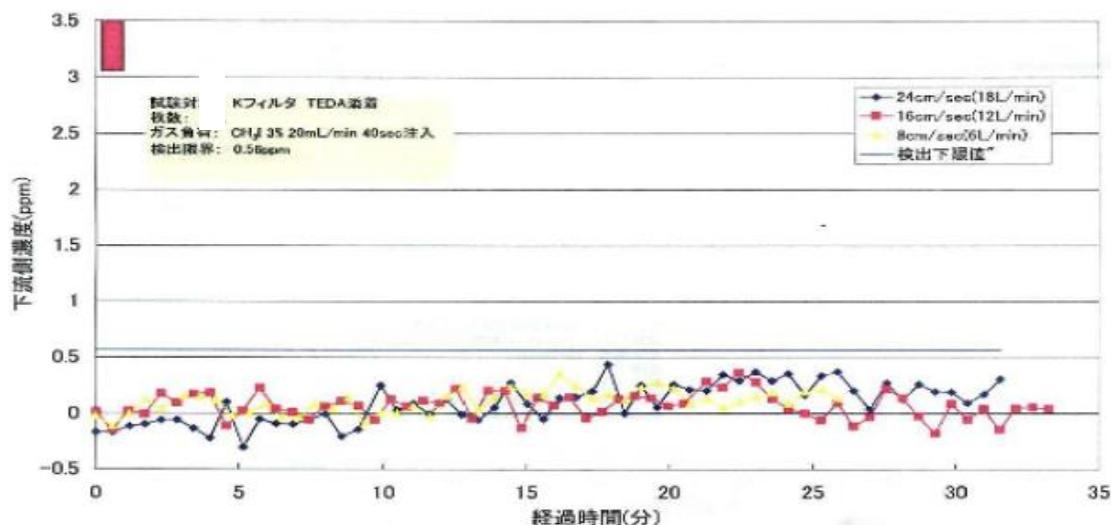
試験結果

30分以上経過しても、その脱離率は0.5%を超えないことが分かりました。

以上のことから

吸着された CH_3^*I は長時間、活性炭素繊維の中に保持されることが判明しました。

活性炭素繊維製フィルタに捕集された CH_3I の脱離試験



3) 移動速度試験

試験方法

活性炭フィルタに捕集された¹³¹I が、通気時間の経過に伴って活性炭中をどの程度移動するかを調べるために、捕集後のフィルタに空気のみ通して、¹³¹Iの移動距離を測定しました。

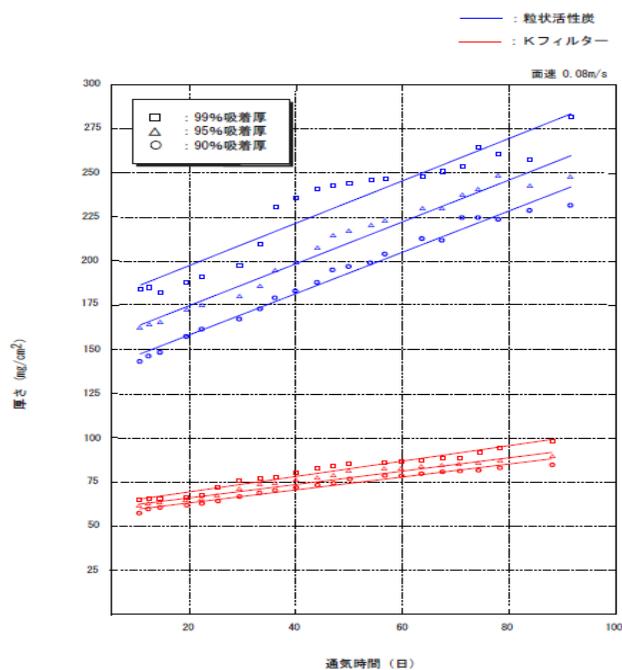
結果

WACフィルタ : 68.1日で30.8mg/cm² 移動。1日当たり0.45mg/cm² 移動。

粒状活性炭製フィルタ : 60日で71.78mg/cm² 移動。1日当たり1.20mg/cm² 移動。

活性炭素繊維製フィルタに捕集された¹³¹Iの活性炭内移動速度は、粒状活性炭製フィルタに比べて凡そ1/4であることが判明しました。

活性炭中に吸着されたの¹³¹Iの移動速度比較



g/cm²(厚さの単位)について

[例] 1cm²当たり0.8gのアルミ板の厚さは何cmか？

この場合、アルミの密度2.7g/cm³で除すと厚さが得られます。
即ち、 $0.8\text{g}/\text{cm}^2 \div 2.7\text{g}/\text{cm}^3 = 0.296\text{cm}$ になります。

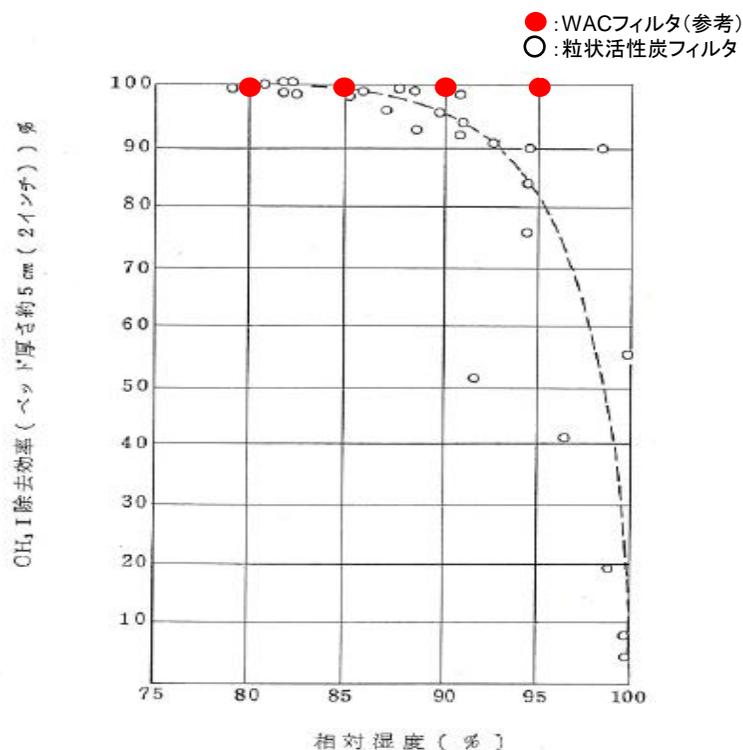
この表示方法は物質に対する作用の度合いが、物質の種類に関係なく、密度で補正した厚みのファクターだけで表示できる利点があります。

因みに、粒状活性炭中の移動距離は、活性炭の見かけの密度を0.38g/cm³としますと、
 $1.20\text{g}/\text{cm}^2 \div 0.38\text{g}/\text{cm}^3 = 3.16\text{cm}$ となります。

4) 捕集効率の相対湿度による影響

下表はORNL(オークリッジ国立研究所)が行った、添着粒状活性炭の放射性有機ヨウ素捕集効率が相対湿度に依って、どの程度の影響を受けるかを調べた結果です。その結果グラフにWACフィルタの試験結果をプロットしました。

添着活性炭の有機ヨウ素除去効率の相対湿度による影響



添着活性炭の有機ヨウ素除去効率の相対湿度による影響

ORNL-4180
"Removal of Radioactive Methyl Iodine from Steam-Air Systems" より

試験結果

粒状活性炭製フィルタ

相対湿度80%から除去効率が徐々に低下
相対湿度90%→除去効率95%
相対湿度95%→除去効率82%

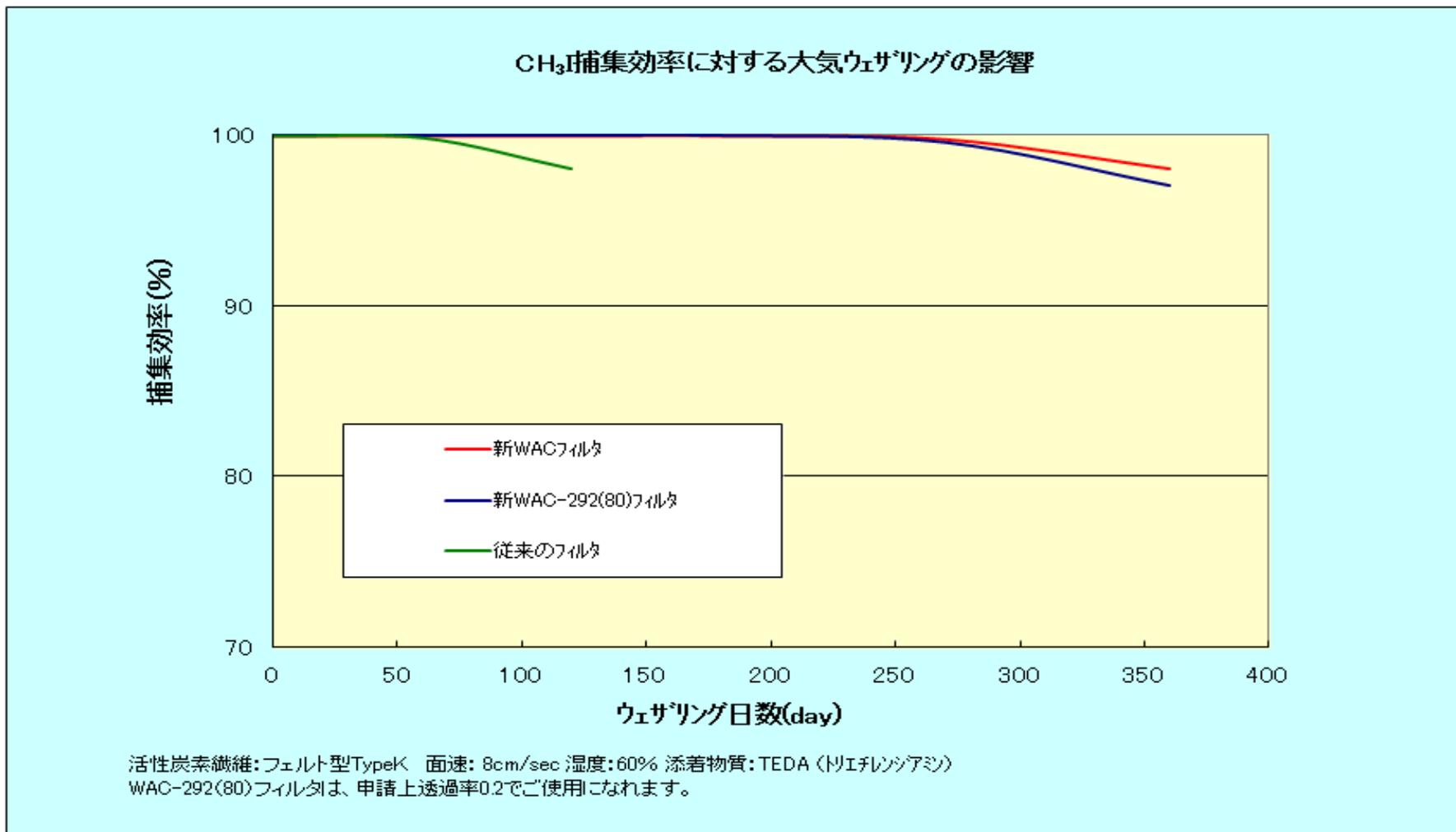
WACフィルタ

相対湿度95%まで 除去効率**99.999%**

以上の結果から、WACフィルタは粒状活性炭フィルタと比較して、圧倒的に湿分に強いと言えます。

5) ウェザリング特性

活性炭フィルタはヨウ素だけでなく、大気中の吸着妨害物質（多くは湿分、他にSO_x、NO_x等）を吸着することにより、ヨウ素吸着面積が次第に減少し、劣化していきます。



6) ウェザリング試験結果

・試験方法

活性炭フィルタに毎日24時間連続で大気を通風し、ヨウ化メチルの捕集効率が98%になるまでの日数を調べました。

・試験結果

粒状活性炭製フィルタと活性炭素繊維製フィルタに対し、各所で実施したウェザリング試験(室温、湿度60%程度)の結果は下記の通りです。

- 1967年 オークリッジ国立研究所 温度: 常温 湿度: ~50%
 - 1972年 日本原子力研究所 温度: 15~25°C 湿度: 40~60%
- 粒状活性炭製フィルタは、4ヶ月後に98%以下に劣化
- 東洋紡績 総合研究所(滋賀県大津市) 温度: 25°C 湿度: ~60%
 - 東京大学 アイソトープ総合センター 温度: 常温 湿度: ~90%以上
- WACフィルタは、12ヶ月後も98%以上を維持

・結論

上記試験結果より、WACフィルタは、8時間/日 通風の場合、**3年間以上使用可能**との結論を得ました。

このことは粒状活性炭製フィルタの**3倍以上**の期間有効であることを意味します。

8. 焼却・減容・廃棄物発生量

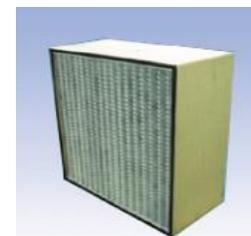
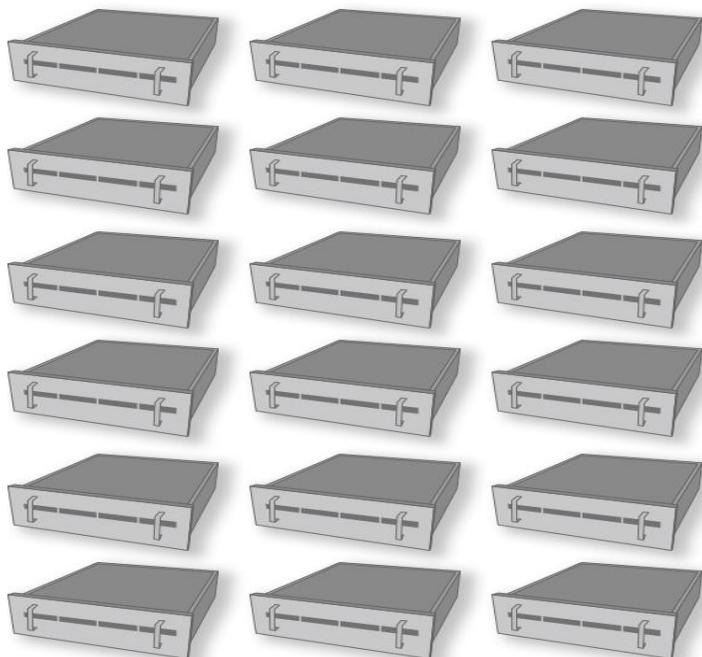
(1) WACフィルタは焼却処理することで大幅に減容できます。※

焼却することによって体積は**1/1,169**に！ (RI協会所有の焼却炉で実証)

※ 発火温度が高い(421℃)ので火災時も比較的安全です。(ASTM D-4069)

トレイ型粒状活性炭製フィルタ 6台/年×3年=18台

多風量型WACフィルタ1台/3年間×3年間=1台



焼却前108.7ℓ



焼却後 0.093ℓ

焼却不可能 69.0 ℓ×18台=1,242ℓ : 焼却後 108.7ℓ×1/1,169=0.093ℓ≒0.1ℓ

WACフィルタ使用による放射性廃棄物の発生量は従来型の **1/12,000**

(2) 粒状活性炭製フィルタの焼却処理状況

放射性同位元素 (R I) 研究施設等から回収した使用済粒状活性炭製フィルタは、2002年からの5年間で約3,000本 (200ℓ換算) がアイソトープ協会に貯蔵されていますが、焼却処理は行われていません。

原子力発電所では焼却処理されず、各サイト内に保管されています。



粒状活性炭粉碎機 (80μm以下)



空気予熱器 (プロパンガスと混合して焼却)

粒状活性炭製フィルタは枠ごと破碎できないため、HEPAフィルタと同様、外枠から打ち抜きが必要

※ 野川 古川 : チャコールフィルタの現状と今後の課題
Isotope News 2008 1月号アイソトープ協会HP

(3)WACフィルタの焼却処理状況



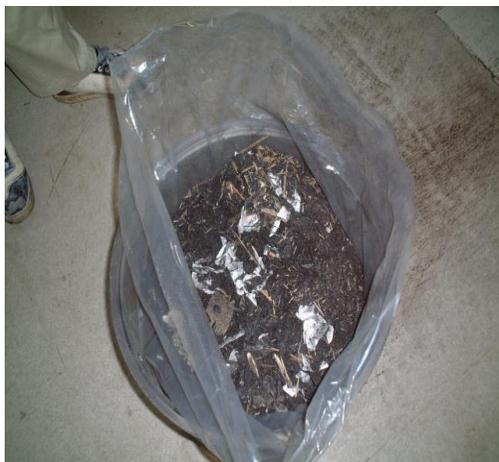
フィルタ破碎機



破碎中



破碎後(グローブボックス)



破碎後(1/20)



焼却炉へ投入(自燃式)

- ・WACフィルタは前処理なしで、**枠ごと**破碎機に投入。
- ・破碎後は約 1/ 20 に減容。
- ・金属類(極く少量)を取り除き、焼却炉に投入。
- ・燃烧に際し**助燃材は不要**。

焼却後 **1/ 1,169** に減容

9. WACフィルタの用途

原子力発電所では次のような装置にWACフィルタの適用が考えられます。

- 格納容器空気浄化装置 (BRW・PWR)
- アニュラス空気浄化系ヨウ素除去装置 (PWR)
- 非常用ガス浄化装置 [SGTS] (BWR・PWR)
- 中央制御 (操作) 室非常用循環系 (BWR・PWR)
- 使用済燃料プール (ピット) 排気フィルタ (BWR・PWR)
- S/G作業用仮設形空気浄化処理装置 (PWR)
- 希ガス (Kr, Xe) ホールドアップ装置 (BWR・PWR)
- 定期検査時の移動式局所排気浄化装置
- 重要免震棟、オフサイトセンター、一時退避施設等用汚染外気浄化装置
- その他放射性ヨウ素発生場所の空気浄化

放射性同位元素 (RI) 使用施設の排気浄化装置等に使用できます。

- 放射性ヨウ素使用施設の排気浄化装置
- 放射性ヨウ素を大量に使用する合成実験室内の局所排気浄化装置
- 放射性ヨウ素を使用する放射線治療病室系統排気浄化装置
- PET試薬合成時に漏洩する放射性ガス (^{18}F 等) の捕集装置
- 環境放射能濃度測定用サンプリングフィルタ (空気中放射性ヨウ素)

W 株式会社 ワカйда・エンジニアリング



〒174-0061 東京都板橋区大原町36-18
TEL:03-3969-3339 FAX:03-3969-3330
<http://www.wakaida.jp> info@wakaida.jp

本資料中の数値およびデータに関する記載事項は、本資料作成時において入手可能な情報に基づいて作成したものです。
本資料の無断複製、転載を禁じます。

技術資料