

**平成23年度  
次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業補助金  
技術開発報告書**

事業番号：J1110009

事業名：強度があり嵩比重の小さい石綿含有保温材等の除去工事規模  
に応じた減容化技術の開発

申請者名：飛島建設株式会社

# 1. 技術開発体制

## 1-1. 技術開発者

代表技術開発者（照会先）

- ・住所 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472
- ・所属名・職名 飛島建設株式会社 技術研究所 第二研究室環境グループ グループリーダー
- ・氏名 内田 季延
- ・電話番号 04-7198-7553 ・ファクシミリ 04-7198-7586
- ・E-mail hidenobu\_uchida@tobishima.co.jp

共同技術開発者

- ・住所 〒999-6102 山形県最上郡最上町東法田 928
- ・所属名・職名 株式会社最上クリーンセンター 専務取締役
- ・氏名 阿部 良治
- ・電話番号 0233-43-4710 ・ファクシミリ 0233-43-4720

## 1-2. 技術開発（実証試験）場所概要

〒999-6102 山形県最上郡最上町東法田 928

株式会社最上クリーンセンター 敷地内



図-1.1.2 実証試験場所  
最上クリーンセンター内の位置



図-1.1.1 実証試験場所  
最上クリーンセンター地図上の位置

## 2. 技術開発の概要と目的

### 2-1. 技術開発の概要

本事業は、ケイ酸カルシウム保温材など、比較的強度があり嵩比重が  $0.1\text{t}/\text{m}^3$ 程度と非常に小さい石綿含有保温材等を対象として、除去工事規模に応じた減容化を実現するための技術開発を行うものである。小規模な除去工事を対象として、除去材の寸法形状決定支援システムおよび効率的な袋詰めを補助するパッキング装置を開発する。大規模な除去工事を対象としては、工事範囲内に持ち込み・移動可能な減容化装置を開発する。

これらの減容化技術の実現により、現状では10トントラック1台で1トン程度しか運搬できない石綿含有保温材廃棄物の積載量を2~5倍とし、輸送効率を向上させることで、運搬に伴う化石燃料使用量を削減する。また容積低減は、熔融無害化処理作業における単位時間当たりの熔融炉内への石綿含有保温材廃棄物の投入体積の低減にもなり、処理作業及び熔融処理に伴う燃料消費量の削減にも寄与する。

### 2-2. 技術開発の目的

本事業は、石綿含有保温材（レベル2廃棄物）の解体除去工事および運搬作業の効率化を図るための支援ツールと補助装置等を開発し、石綿含有保温材の熔融無害化処理の促進に寄与することを目的とする。第一に、工事規模やスペースの関係で大型工具や処理機械が持ち込めず、主に作業員が工具を用いて作業を行う小規模除去工事現場を対象とした、石綿含有保温材廃棄物を減容化するためのエキスパートシステムと補助器具を開発する。第二に、比較的規模の大きな解体除去工事現場を対象とした減容化・袋詰め装置の開発である。これらの減容化技術の開発によって、解体除去・運搬・熔融無害化処理までのコストダウンと省エネルギー化を図り、従来、最終処分場で埋立処分されている石綿含有廃棄物（廃石綿等）の無害化循環利用促進に寄与することを、事業化の目的としている。

### 2-3. 技術開発項目

本技術開発では、以下の4つの開発項目に対応した。

- ①除去手順支援のエキスパートシステムの開発。
- ②袋詰め作業補助器具の開発。
- ③自走台車に積載可能な減容化装置の開発。
- ④解体除去・袋詰め・運搬・熔融処理の一連の流れへの開発成果の適用による省エネルギー効果の検証。

### 3. 予備調査および試験

#### 3-1. 予備調査と試験項目

開発に際し、石綿含有配管保温材等を減容化する効果が、除去工事によってどの程度期待できるか、既存の減容化技術がどの程度利用できるか等の予備調査と試験を実施した。予備調査及び試験項目を以下に示す。

- ① 減容化率と輸送効率の関係
- ② 袋詰め効率の予備試験
- ③ 保温材片を用いた圧縮試験
- ④ 減容化装置の実態調査

第一に、①減容化率と輸送効率の関係として、運搬用のトラックサイズと運搬容積の関係、減容化効果と運搬車両削減の関係を調べた。次に、②袋詰め効率の予備試験では、市販されている袋詰め補助器具の流用と、試作補助器具での袋詰め効果の検証試験を行った。③保温材片を用いた圧縮試験では、実際に利用されていた配管保温材で石綿含有のない物をサンプルとして、保温材片の重なり状況やケースへの詰込の有無など条件を変えて圧縮試験を行い、減容化効果と必要な単位面積当たりの圧縮力を求めた。

これらの予備調査及び予備試験結果を参考に、ペットボトル減容化装置をはじめとする既存の減容化装置の実態調査を行い、実際に装置にペットボトル減容化装置での予備圧縮試験を実施した。

### 3-2. 減容化率と輸送効率の関係

#### 1) トラックサイズ別の運搬容積

表-3.2.1 に主なトラックの車種別荷台寸法と 1 m<sup>3</sup>丸フレコンバッグの積載数を示す。ただし、1 m<sup>3</sup>丸フレコンは、二重ビニール袋梱包された配管保温材等の廃棄物をフレコンバッグに入れる際に空隙が生じるため、フレコンバッグ自身のサイズいっぱいにはならないことから、直径 1m、高さ 1m で算定し、平積みで下段 2 列の場合は、上段 1 列。箱車やウィング車の場合は、2 列 2 段とした。代表的なトラックの荷台形状と積載状況を、図-3.2.1 に示す。

2t 車は荷台幅が狭いため 3 体しか積載できないが、2t long 車では 12 体、2t long 箱車では 16 体積載できる。また、4t long の箱車・ウィング車の荷台寸法は、10t 箱車・ウィング車とほぼ同等なので、比重の軽い配管保温材の運搬では、4t long の箱車・ウィング車の方が、10t、12t 車より積載数で有利である。

表-3.2.1 トラックサイズ別の運搬容積

車種	荷台寸法(cm)			1 m <sup>3</sup> 丸フレコン 積載数*1	積載重量*2 kg	備考
	幅	長さ	高さ			
2t	162	312		3	180	
2t long	190	435		12	720	
2t long 箱	205	431	207	16	960	ハワーゲート付き
3.5t long 箱	218	579	207	20	1200	ハワーゲート付き
4t	213	579		15	900	
4t 箱	213	579	223	20	1200	
4t long 箱、ウィング	240	624	232	24	1440	
10t	223	622		18	1080	
10t 箱、ウィング	223	622	240	24	1440	
12 t	230	770		21	1260	
15t	241	1002		30	1800	
15t ウィング	241	1002	265	40	2400	
20F 海上コンテナ	244	606	259	24	1440	
40F 海上コンテナ	244	1219	259	48	2880	

\*1 : 1mφ、h=1m で算定

\*2 : 1フレコン 60kg で算定

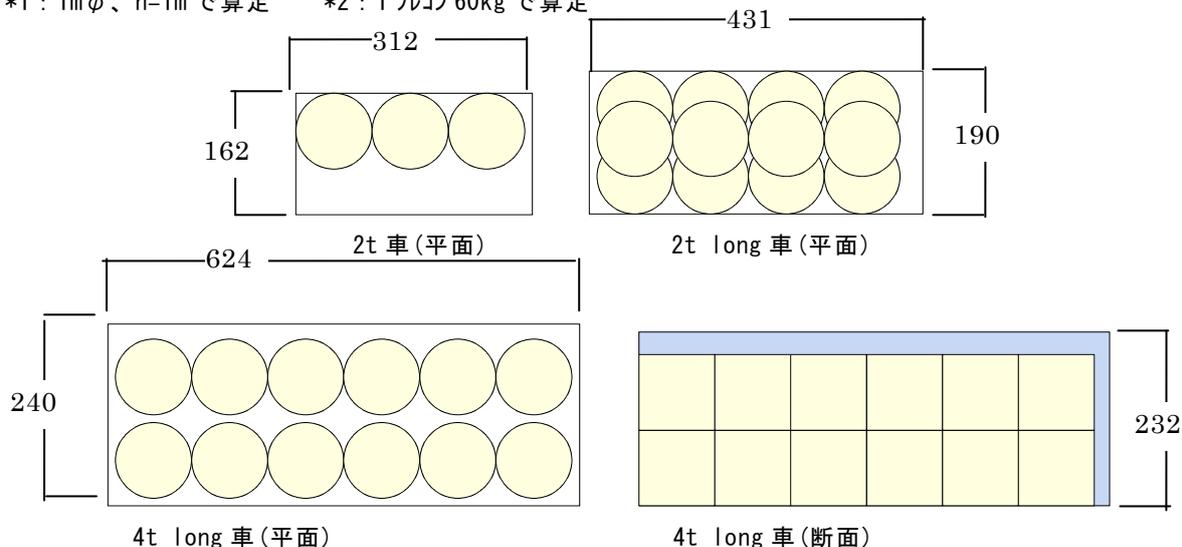


図-3.2.1 トラックサイズ別の運搬容積

## 2) 減容化効果と運搬効率の関係

表-3.2.2 は、フレコン数と対応トラックを設定(基準 100%)して、減容化条件を変化させてフレコン数と対応トラックの関係をみたものである。

case1: フレコン数 3 体の場合、20%(1/5)まで減容化してもフレコン 1 体、2t 車が必要で運搬効率は向上しない。

case2: フレコン数 5 体の場合、50%(1/2)以上減容化すると 2t 車にサイズダウン可能で運搬効率が向上。

case3: フレコン数 10 体の場合、25%(1/4)以上減容化すると 2t 車にサイズダウン可能で運搬効率が向上。

case4: フレコン数 15 体の場合、20%(1/5)以上減容化すると 2t 車にサイズダウン可能で運搬効率が向上。

case5: フレコン数 20 体の場合、80%(20%)以上減容化すると 2 long、2t 車にサイズダウン可能で運搬効率が向上。

case6: フレコン数 40 体の場合、50%(1/2)以上減容化すると 4t 車以下にサイズダウン可能で運搬効率が向上。

表-3.2.2 トラックサイズ別の運搬容積

条件ケース		基準	減容化条件				
		100%	80%	50%	33%	25%	20%
case1	フレコン数	3	2.4(3)	1.5(2)	0.99(1)	0.75(1)	0.6(1)
	対応トラック	2t	2t	2t	2t	2t	2t
case2	フレコン数	5	4	2.5(3)	1.65(2)	1.25(2)	1
	対応トラック	2t long	2t long	2t	2t	2t	2t
case3	フレコン数	10	8	5	3.3(4)	2.5(3)	2
	対応トラック	2t long	2t long	2t long	2t long	2t	2t
case4	フレコン数	15	12	7.5(8)	4.95(5)	3.75(4)	3
	対応トラック	2t long 箱	2t long	2t long	2t long	2t long	2t
case5	フレコン数	20	16	10	6.6(7)	5	4
	対応トラック	4t 箱	2t long 箱	2t long	2t long	2t long	2t long
case6	フレコン数	40	32	20	13.2(14)	10	8
	対応トラック	15t ウィンク*	15t ウィンク*	4t 箱	2t long 箱	2t long	2t long

運搬するフレコンバッグ（石綿含有保温材廃棄物）量が多く、運搬車両が複数台になる場合は、減容化条件に応じて車両台数を削減することができる。当然、減容化率が高い程、削減効果は大きい。一方、車 1 台分相当のフレコンバッグ積載量の場合は、量が少ない程、減容化しても運搬車両をサイズダウンすることが難しいことが分かる。例えば、解体除去工事規模が小さく、フレコン 3 体(3 m<sup>3</sup>)程度の場合、2t 車を想定すると 20%まで(80%の減容化)してもフレコン 1 体(満杯ではない)の運搬に 2ト車は必要であり、運搬車両のサイズダウン(運搬コスト削減)は難しいことが分かる。

### 3-3. 袋詰め効率の予備試験

#### 1) 米袋開放器具の利用

解体除去工事現場で、剥がした石綿含有配管保温材等を袋詰めする際の、作業効率と詰込み効率を向上させるための補助器具として、写真-3.3.1に示す、米袋開放器具の利用を検証した。

米袋開放器具は、写真に示すように金属フレームで構成され、本来は 30kg サイズの紙製米袋への米の投入を用意とする目的で開発されたものである。袋に入れて開くことで袋を自立させると共に袋開口を大きく開き、円柱形の状態を保持することができる。



写真-3.3.1 米袋開放器具

米袋開放器具を石綿処理専用の中サイズビニル袋(650×800mm)に入れ、床面に立てると、袋の中の状態を確認しながら保温材片を袋詰めすることが可能である。

写真-3.3.2 に示すように、トングを利用して保温材片を詰める場合、隙間具合を確認できるので比較的効率よく詰めることは可能である。ただし、写真-3.3.3～3.3.5に示すように、詰め終わった状態から米袋開放器具を抜き取ると袋形状が変化してしまう。また、使用した米袋開放器具は、下面にも横桟があるので、袋から引き抜く際に保温材片が引っかかり詰め具合を変えてしまうことが判明した。



写真-3.3.2 米袋開放器具の利用状況



写真-3.3.3 米袋開放器具を抜き始めた状況



写真-3.3.4 米袋開放器具を抜き始めた状況



写真-3.3.5 米袋開放器具を抜き終わった状況

## 2) 袋詰め補助器具の試作

米袋開放器具での試験から、器具を抜いた際に袋形状が変化してしまわないような器具を試作した。写真-3.3.6～3.3.7は、石綿処理専用の大サイズビニル袋(850×1280mm)用にプラスチック素材を蛇腹状に加工した補助器具である。折りたたんだ状態で袋に入れて開いて長形状を保持する。

写真-3.3.8～3.3.9は、石綿処理専用の中サイズビニル袋(650×800mm)用の補助器具(青いプラスチック製)で、大袋用と同様に折りたたんだ状態で袋に入れて開いて長形状を保持して、保温材の破砕片を詰め込み作業した状況である。開発した器具を使うことで、袋に縦長の長方体状の空間を保持して保温材片を詰込可能であり、詰込効率を高めることができる。

写真-3.3.10は、実際に解体工事現場で袋詰めされた配管保温材片を使って、中サイズ袋に詰め込み作業をした状況である。補助器具を使用して、写真-3.3.11に示す配管保温材(4体)を詰め込みなおした結果、写真-3.3.12に示す(3体)となった。表-3.3.1に各試験体(ビニル袋)の形状寸法と直方体を仮定した容積を示す。

補助器具を使用すると縦長の長形状の空間を保持して袋詰めされるので、詰込後の形状も縦長となる。一方、解体現場から得たサンプルは総じて横長となっている。ある程度の間隙がある状態で袋詰めされているため、運搬途中で揺すられて、保温材片のかみ合わせが崩れて落ち着いた形状が横長となったことが想定される。

長方体を仮定した容積でみると、基が4体合計で約2630であったものが、補助器具使用により3体合計で約1600となり、容積で61%に減少(約40%減容化)することが可能である。



写真-3.3.8 袋詰め補助器具  
大袋用 (姿)

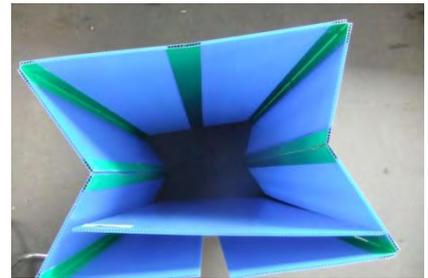


写真-3.3.9 袋詰め補助器具  
大袋用 (上部からみた状況)



a) 詰込状況 b) 補助器具を抜いた状況  
写真-3.3.10 袋詰め補助器具 (中袋用)

表-3.3.1 袋詰め試験体の形状、容積

No.	W(mm)	H(mm)	D(mm)	Q(ℓ)	
3	480	380	400	73.0	減容化前
4	500	330	370	61.1	
7	490	390	330	63.1	
8	540	380	320	65.7	
16	410	460	300	56.6	減容化後
17	380	440	250	41.8	
18	400	530	290	61.5	
				262.7	
				159.9	



写真-3.3.11 袋詰め元の配管保温材 (中袋4体)



写真-3.3.12 補助器具利用袋詰め後 (中袋3体)

### 3-4. 保温材片の圧縮試験

#### 1) 開放圧縮試験

写真-3.4.1 に示すような非石綿含有の配管保温材廃棄物を試験材料として、写真-3.4.2 に示す圧縮試験機を用いて形状変化と圧縮力の関係を求めた。表-3.4.1 に圧縮試験機の仕様を示す。

写真-3.4.3～3.4.6 には、試験材料を適宜重ねた状態での圧縮試験の様子を示す。重ねあった状態で圧縮すると、写真-3.4.5 のように曲げが働くアーチ状の破片の下側に亀裂が生じ、保温材片は隙間の無い板状の状態に近づいていく。この時、写真-3.4.6 に示すように、一部に円筒方向の部材を挟むと、その部分には変化が見られないので、保温材自身の圧縮耐力よりも曲げ、せん断耐力の方が小さいことが分かる。



写真-3.4.1 圧縮試験材料



写真-3.4.2 圧縮試験機



写真-3.4.3 圧縮試験の様子

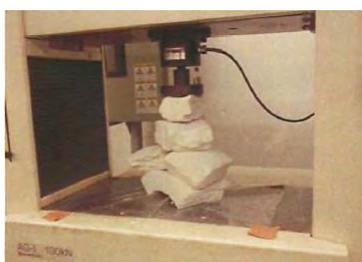


写真-3.4.4 圧縮試験の様子



写真-3.4.5 圧縮試験の様子



写真-3.4.6 圧縮試験の様子

図-3.4.1 に保温材片から 4cm 立法の試験サンプルを切出し、試験限界まで圧縮した場合のストロークと圧縮力の関係を示す。No.1 サンプルの結果をみると、ストローク 30mm(4cm→1cm、1/4 に圧縮)では圧縮力 5000N であるが、ストローク約 20mm(4cm→2cm、1/2 に圧縮)では、1250N と圧縮力は 1/4 で済んでいる。

表-3.4.1 圧縮試験装置の仕様

機器分類	強度試験機器
メーカー名	島津製作所
型番等	AG-100KNI
装置概要	引張、圧縮、曲げ等の強度試験
主な仕様	負荷許容量:100kN 試験速度:~1,000mm/min 大きさ:幅1,170×奥行750×高さ2,162mm

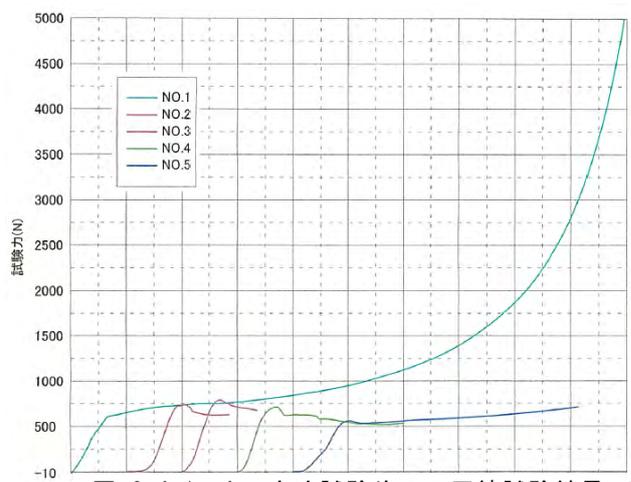


図-3.4.1 4cm 立法試験片での圧縮試験結果

## 2) ケース入れ圧縮試験

次に、圧縮に伴う保温材が変形することで周囲に広がることの影響をみる目的で、内径 132φ 高さ 100mm の塩ビパイプに石綿含保温材約 85g を入れ万能材料試験機にて圧縮試験を行った。表-3.4.2 に結果をまとめて示す。ケースへ詰める保存材片の形状等により、圧縮力と外周(ケース)へ掛る力の影響は、増えるか、減るか、等価に等しいかは、現状では不明(ただし、例)と考えられることと思われる。

表-3.4.2 ケース入れ条件での圧縮試験結果

<p><b>No.1</b></p>	<p>容器の半分の高さまでつぶした。            実験前: 高さ125mm            実験後: 高さ50mm            最大点試験力 2.641313KN</p>		<p>この試験では塩ビ管の破裂が懸念されたためこれ以上の試験を中止</p>
<p><b>No. 2</b></p>	<p>容器の1/3までつぶした。            実験前: 高さ160mm            実験後: 高さ約50mm            最大点試験力 5.33844KN</p>		
<p><b>No.3</b></p>	<p>No.2で圧縮した石綿含保温材を塩ビパイプから取出し、再度つぶす。            実験前: 高さ160mm            (No.2のデータより)            実験後: 高さ18mm            圧縮した後の重さ50g            (固化化した重さ)            最大点試験力15.5467KN</p>		
<p><b>No.4</b></p>	<p>No.2と同じように石綿含保温材を入れて容器に1/3ぐらいまでつぶす。            実験前: 高さ150mm            実験後: 高さ約50mm            試験力1.85644KN</p>		
<p><b>No.5</b></p>	<p>No.4で圧縮した石綿含保温材を塩ビパイプから取出し、再度つぶす。            実験前: 高さ150mm            (No.4のデータより)            実験後: 高さ16mm            圧縮した後の重さ50g            (固化化した重さ)            最大点試験力29.3859KN</p>		

### 3) 圧縮試験結果の考察

保温材片を用いた圧縮試験の結果、以下の治験を得た。

- ① 保温材片の曲げ・せん断耐力は圧縮耐力よりも小さく、保温材片をビニル袋に詰込んだ状態で圧縮減容した場合、アーチ状部材の破壊による容積減少が先に期待される。
- ② ケイ酸カルシウム保温材は多孔質であり、保温材自身の空隙分の減容化が期待される。
- ③ 減容化割合と圧縮力には、表-3.4.3 及び図-3.4.2 に示す関係がみられる。
- ④ 例えば、圧縮力 300kN(約 30 トン)の推力を持つ油圧シリンダ等を使った場合、配管保温材の定尺(長さ 610mm)分を一度に圧縮可能な、650×450mm サイズの加圧版を想定すると、55%(1/2 強)の減容化効果であり、表-3.3.1 に示すように、現状の解体工事での袋詰状況の 500×400mm サイズの加圧版では 65%、補助部材利用で縦長に詰めた場合の 400×300mm サイズの加圧版では 70%強の減容化効果となる。
- ⑤ 保温材片を用いた圧縮減容化の予備試験では、減容化に伴う粉じん飛散や、圧縮面の周囲への著しい膨張は見られなかった(加圧面の部分そのまま減容化する)が、保温材片の詰め方によってはケーシング(周囲)に圧力が掛るため、減容化装置の開発に際しては減容化室の構造、強度にも注意が必要である。

表-3.4.2 減容化量割合と圧縮力の関係

減容化割合	単位面積 (N/mm <sup>2</sup> )	加圧面積別所要圧縮力(kN)		
		400×300	500×400	650×450
3/4	0.5	60	100	146
1/2	0.8	94	156	229
1/3	1.7	206	344	503
1/4	3.1	375	625	914

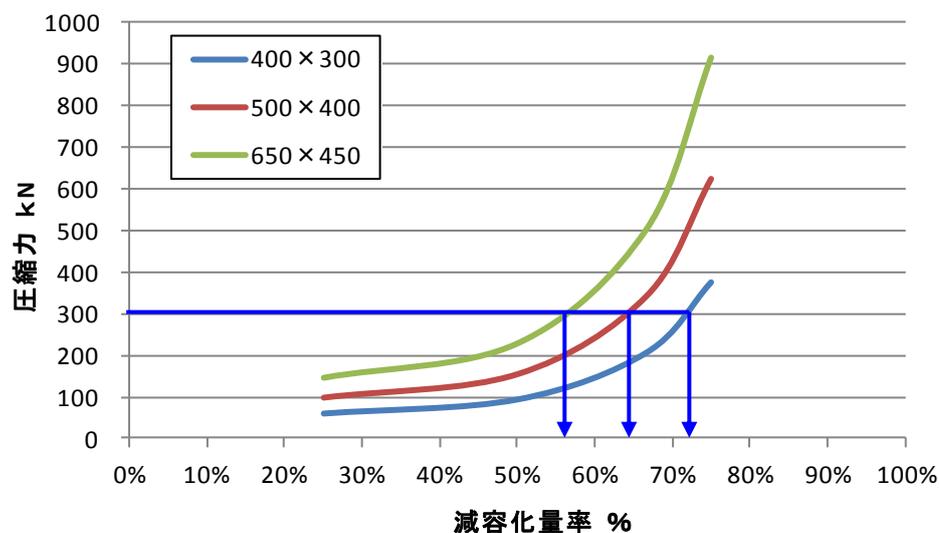


図-3.4.2 減容化量率と圧縮力の関係

### 3-5. ペットボトル減容化装置の調査と予備試験

#### 1) ペットボトル減容化装置の種別と特徴

既存の減容化装置には、ペットボトル等、軽く嵩張るプラスチック製品の廃棄物処理で利用されている製品がある。表-3.5.1 および写真-3.5.1～3.5.6 にペットボトル等の減容化装置の例を示す。現在、市販されているペットボトル等の減容化装置は、推力方式を油圧シリンダとする物が大半であった。推力方式としては、この他に、空気シリンダ方式や機械式(ボールねじ式)がある。

調査結果を要約すると以下の特徴が判明した。

- ・ 大半の機械が縦型(縦方向いに圧縮減容化)であり横型の機種は少ない。
- ・ 能力と単位面積当たりの圧縮力は必ずしも比例していない。
- ・ 能力の割に大きな加圧版面積を有する機械は、単位面積当たりの圧縮力が小さいので、減容化量率は小さくなるが大量のペットボトル等を一定形状にまとめることができる。
- ・ 能力の割に小さな加圧版面積を有する機械は、単位面積当たりの圧縮力が大きいので、減容化量率は大きくなるが大量のペットボトル等を一度に減容化できない。

表-3.5.1 に示す機種では、サンマア(X30)やササキ(HSM 155.2VL-S)は、加圧面サイズが大きく大量のペットボトル等を一定形状にすることを主目的としている。単位面積当たりの圧縮力からみると、サンマア(SX-V6040)や油研工業(YB-10P-PA)は、表-3.4.2 で設定した加圧版面積に近く、相当の圧縮力となっており、50%(1/2)程度の圧縮減容が見込めるものと思われる。ただし、2機種ともに油圧シリンダの長さの関係で、全高が2.5mを超えている。

減容化装置の開発に際しては、工業用エレベータでの搬入も想定しているため高さ制限が見込まれる。例えば、積載重量3トンの工業用エレベータの寸法は、間口3m、高さ2.3m、奥行き4m(サタ工業)なので、搬送用の台車の高さを含めると、ほとんどの機種で高さ制限を超えてしまう。

サンマア(X30)のように、クロスシリンダを採用して能力の割に高さを抑えた製品はあるが、加圧面幅を利用して、油圧シリンダを配置しているため、加圧版サイズを小さくすると加圧ストロークも短くなってしまい、せっかくの減容化効果が十分得られない可能性がある。

表-3.5.1 ペットボトル等減容化装置の種別と特徴

メーカー	サンマア	サンマア	ササキ	ササキ	油研工業	ORWAK
型式	SX-V6040	X30	HSM 155.2VL-S	MBP-7373E	YB-10P-PA	5070HD
推力方式	油圧シリンダ	油圧シリンダ	油圧シリンダ	油圧シリンダ	油圧シリンダ	油圧シリンダ
能力(t)	25	30	16	20	20	10
機械寸法(mm)	820×1100×2580	1745×1260×2295	1540×1140×2340	5150×1279×2021	2970×1540×2590	1740×790×2220
機械重量(kg)	950	1720	1080	2100	1920	822
加圧版サイズ(mm)	600×400	1200×800	1300×730	730×730	640×430	700×500
加圧ストローク(mm)	920	940	700～1000	1000	700	700
圧縮力(N/mm <sup>2</sup> )	1.02	0.31	0.17	0.37	0.71	0.28
特徴	加圧面積が狭い割に能力が高いので単位面積当たりの圧縮力が大きい 機械重量は1トン以下と軽量であるが、油圧シリンダの高さが高い	クロスシリンダ採用で能力の割に機械高さが低い 加圧面積が広いので単位面積当たりの圧縮力は小さい	加圧面積が広い割に能力が低いので単位面積当たりの圧縮力が小さい 機械重量は1トン程度と軽量であるが、油圧シリンダの高さが高い	横型なので高さは低いが、設置投影面積が広い 加圧面積が狭いので単位面積当たりの圧縮力はそこそこある	能力の割に設置投影面積が広く機械高さが高く重い 加圧面積が狭いので単位面積当たりの圧縮力は比較的高い	圧縮減容機と減容物ボックスを分離可能 加圧面積が狭いので能力の割に単位面積当たりの圧縮力は比較的高い



写真-3.5.1 サンエ7 (SX-V6040)



この機種は写真のように減容化室サイズが非常に大きく、一度に大量の袋詰めされたペットボトル等を圧縮減容化して紐掛けし、パレットに載せて運搬することを想定している。大量に詰めて圧縮を繰り返すので、加圧シリンダのストロークをでも十分効果が得られている。

写真-3.5.2 サンエ7 (X30)



HSM155.2VL-S

写真-3.5.3 サキ (HSM 155.2VL-S)



横型の場合、機械高さは低くできるが、構造的に排出口側が圧縮力を受けるため、排出扉の構造が縦型よりも強固にする必要がある。そのため、縦型を単に横にした構造にはできない。

写真-3.5.4 サキ (MBP-7373E)



写真-3.5.5 油研工業 (YB-10P-PA)



写真-3.5.6 ORWAK (5070HD)

## 2) ペットボトル減容化装置での予備試験

ペットボトルは圧縮時に形状変化に伴うばね作用がある弾性体であるが、配管保温材は比較的硬く、圧縮時に形状変化に伴うばね作用等はみられない。そのため、ペットボトル等のプラスチック製品を対象とする減容化装置で、保温材がどの程度減容化できるかを試験した。試験に協力いただいた機種は、ORWAK(5070HDC)、能力 10 トン、単位面積当たり圧縮力  $0.28\text{N}/\text{mm}^2$  の機械である。写真-3.5.7～3.5.12 にペットボトル減容化装置での予備試験状況を示す。

写真-3.5.8 のような実際に解体除去された非石綿含有の配管保温材をビニル袋に入れて圧縮減容した。減容化の際は、そのままでは加圧版の下死点が高く、十分圧縮できないため鋼製の馬を入れて行った。減容化の結果、保温材のアーチ状の形状はつぶれ、全体に平坦な固まり状に圧縮減容されている。写真-3.5.12 のように、ビニル副炉内のカプルの状況を見ると、アーチ形状がつぶれた上に、若干ではあるが保温材自身も圧縮減容されている。



写真-3.5.7 試験装置 (ORWAK 5070HDC)



写真-3.5.8 試験に用いた配管保温材



写真-3.5.9 減容化前の状況



写真-3.5.10 減容化後の状況

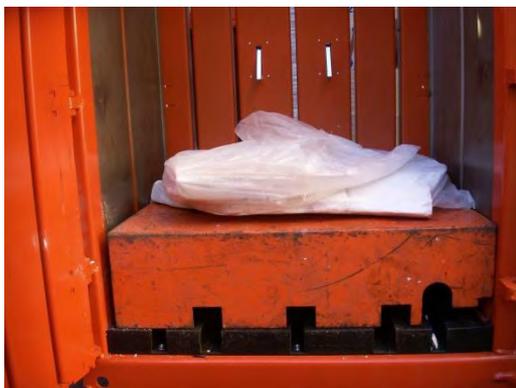


写真-3.5.11 減容化後の状況



写真-3.5.12 減容化後のカプルの状況

予備試験に用いた、ORWAK(5070HDC)は、油圧シリンダ能力が 10 トンで、単位面積当たりの圧縮力も  $0.28\text{N/mm}^2$  と比較的小さいため、保温材の形状変化程度の減容化を想定した。試験結果はそれ以上の減容化効果を示した。

当該機種を含むペットボトル等の体積変形のある弾性体の減容化装置は、減容化のワークが大きく圧縮減容化初期のペットボトルの体積変形過程では、あまり大きな推力を要しない。そのため加圧版の押し下げ速度を速く設定することで作業所要時間短縮に寄与している。圧縮が進んで反力が大きくなった段階では押し下げ速度を遅くして推力を得ている。



写真-3.5.13 減容化装置のボックス取付部

この装置で保温材を減容化した場合、加圧版は保温材に接触するまで速い速度で降下し、保温材に衝突して圧縮減容する状態となっている。そのため衝突時の動的荷重効果によって、油圧シリンダの推力から換算した圧縮力以上の圧縮減容効果が得られたものと推察される。ただし、その代償として、写真-3.5.13 に示す装置とボックスの取付部などは、プラスチック類減容化での想定以上の反力を受けるため、構造補強しないと破損などの不具合が生じることが懸念された。なお、ORWAK(5070HDC)は、輸入品であり、その圧縮減容化作業工程はプログラミングされた条件を変更することができないため、対象物をプラスチック類から配管保温材に変更した最適工程とすることができなかった。

### 3) ペットボトル減容化装置の調査結果のまとめ

減容化装置の開発に当たり、既存のペットボトル減容化装置の調査および予備試験の結果、以下の知見を得た。

- ・ 油圧シリンダ方式のペットボトル減容化装置(汎用品)は、所定の能力のある製品は高さが工業用エレベータの入り口高さ 2.3m を超える。
- ・ ペットボトルの圧縮減容化作業工程は、必ずしも保温材には適していないため、プログラム制御の変更等が必要である。
- ・ ペットボトルの圧縮減容化作業よりも、保温材の圧縮減容化作業の方が、機械が受ける反力が大きくなるため、ペットボトル用減容化装置を流用する場合は、各部の構造補強が必要となる。

### 3-6. 予備調査、試験結果の考察とまとめ

予備調査及び試験項目として、①減容化率と輸送効率の関係、②袋詰め効率の予備試験、③保温材片を用いた圧縮試験、④減容化装置の実態調査について検証した結果を要約すると以下の知見を得た。

- 1) 初期の開発目的では小規模除去工事現場を対象とした、石綿含有保温材廃棄物を減容化するためのエキスパートシステムと補助器具の開発を想定したが、検討の結果以下の課題が判明した。
  - (ア) 石綿含有の配管保温材片廃棄物を廃棄用の専用ビニル袋へ手作業で詰込む際の詰込効率の向上は、補助具を利用しても40%程度の減容化(容積が60%に低減)である。
  - (イ) 小規模除去工事現場から排出される廃棄物量として想定される、フレコンバッグ数体程度では、減容化効率60%の袋詰め効率向上だけでは、運搬車両のサイズダウンまでの効果が期待できない。
- 2) 減容化・袋詰め装置の開発に関しては、保温材片を用いた予備試験と既存のペットボトル減容化装置での試験減容により、想定以上の減容化効果が期待できることが判明した。
  - (ア) 部材試験では、単位面積当たりの圧縮力 $0.8\text{N/mm}^2$ 以上で、50%以上の減容効果が期待されたが、ペットボトル減容化装置での試験減容では、単位面積当たりの圧縮力 $0.28\text{N/mm}^2$ の条件でも、動的荷重効果によって配管保温材自身の圧縮減容まで見込まれた。
  - (イ) 圧縮減容化装置の加圧版を一定速度で配管保温材に押し当てる作業を何度か繰り返し、動的荷重効果を複数回得ることで、一回の圧縮減容化で得られる減容効果以上の減量率を得ることができる見込が得られた。
  - (ウ) 油圧シリンダ方式を最小する既存のペットボトル減容機は、圧縮能力と重量は石綿除去工事現場での配管保温材の減容化に適用できるものの工業用エレベータに搭載可能な高さを満足できない。また流用には加圧版サイズを変更して単位面積当たりの圧縮力を調整し、圧縮版の降下速度などの制御を変更する必要がある。
- 3) まとめ
  - (ア) 石綿含有配管保温材廃棄物の廃棄に伴う運搬効率向上によって、解体除去・運搬・熔融無害化処理までのコストダウンと省エネルギー化を図り、従来、最終処分場で埋立処分されている石綿含有廃棄物(廃石綿等)の無害化循環利用促進に寄与する目的の達成のため、対応項目を変更し、以下の施策を実施するものとした。

I. エキスパートシステムのプログラム開発を中止する。

II. 袋詰め補助器具は予備試験で開発した試作機のみとし、実容機開発を中止する。

III. 減容化装置は、解体除去工事現場に持ち込み可能な機械寸法、重量のなかで処理能力を最大限高めた仕様に変更する。

## 4. 減容化装置の開発

### 4-1. 減容化装置の設計

#### 1) 油圧シリンダ方式

油圧シリンダ方式の圧縮減容装置として、油圧タンクや油圧配管を必要とせず、電氣的に制御可能なハイブリッド油圧アクチュエータを利用した精密プレス機の適用を検討した。写真-4.1.1～4.1.2に参照した精密プレス機を示す。ハイブリッド油圧アクチュエータは、サーボモータに直結された油圧ポンプで油圧シリンダを制御するもので、電気信号で全ての制御が可能であり位置決め精度が極めて高い特徴がある。写真に示すように圧縮減容(プレス)構造を非常にシンプルに構成することができる。写真-4.1.2に示すように、1本シリンダの場合は、反力を受ける上限の耐圧版とそれをつなぐ腕のみで構成されている。

配管保温材の圧縮減容化では、加圧版サイズを450×600mm程度とした場合、1本シリンダで対応した場合でも、写真-4.1.1に示すように、周囲の4本の柱にガイドを付けるか、加圧版の剛性を非常に強固とする必要があるとの判断(第一電機)であった。特に、減容化対象物の高さが一定ではなく偏っている場合は加圧版に対して曲げ力が働くため、柱ガイド式はスムーズな稼働が困難となる懸念があるとの判断であった。

処理能力80ト規模の1本シリンダで、加圧版の剛性を高めた仕様では、総重量が3トを超える見込みとなり、本機構での対応を断念した。



写真-4.1.1 油圧シリンダ式減容化装置の例 (80ト精密プレス)

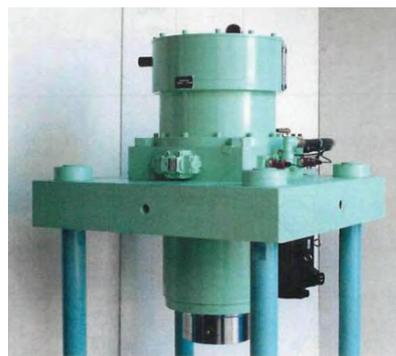


写真-4.1.2 油圧シリンダ式減容化装置の例 (100ト精密プレス)

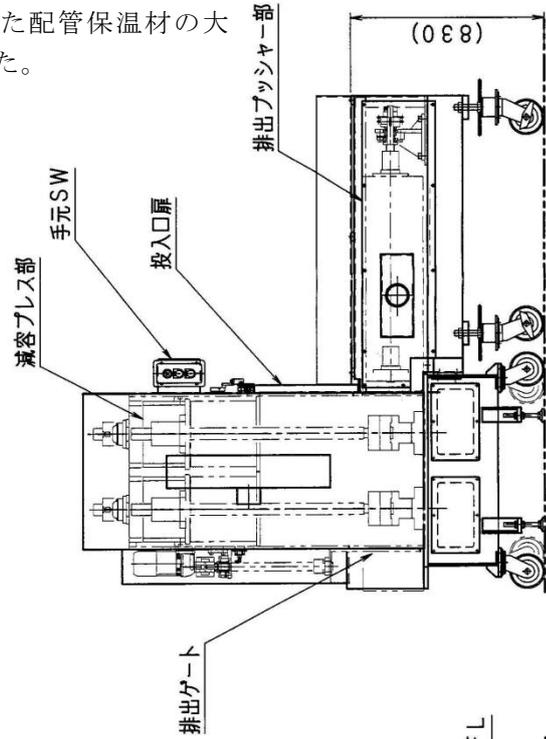
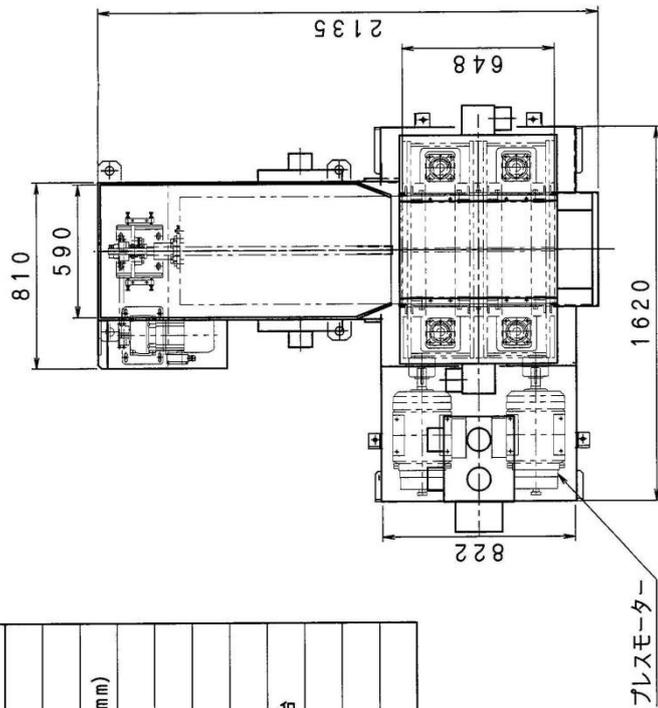


## 2) 機械方式

開発(製造)した機械式減容化装置の図面を以下に示す。ボールねじを用いた機械式の減容プレス部は、加圧版の両サイドを支持して加圧作業するため、加圧版に均等に配管保温材が当たらない場合でも加圧版の変形に対して強い。

本機では、2組の減容プレス部を並列させ、ここに独立して減容制御することで、減容室に詰められた中サイズビニル袋梱包された配管保温材の大きさが異なっても、一定サイズまで減容化可能とした。

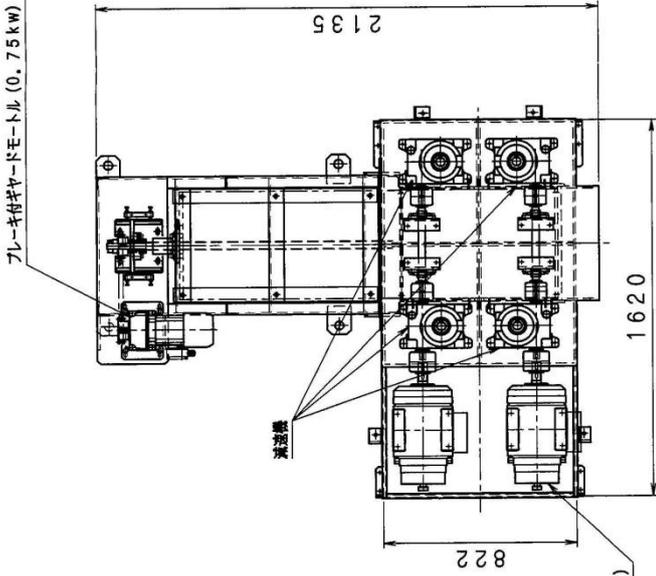
減容プレス部と排出プッシャー部を分離独立し、移動に際してのハンドリングをよくしている。全体重量は2ト以下、全高も2m以下となり、工業用エレベータへの搭載が可能である。また吊りフックを設置してユニックやクレーンでの吊り降ろし作業に対応した。



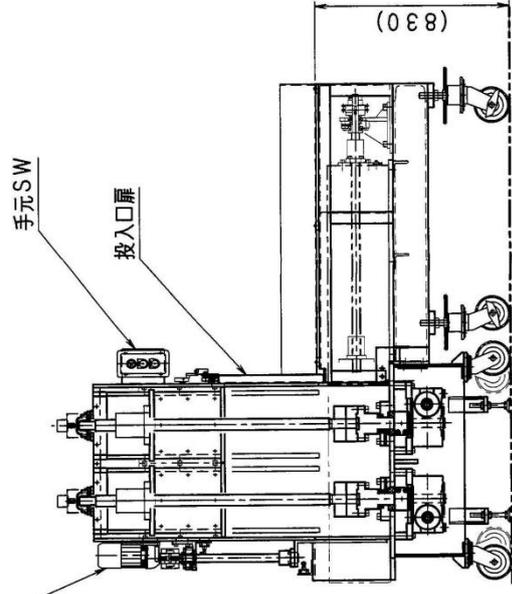
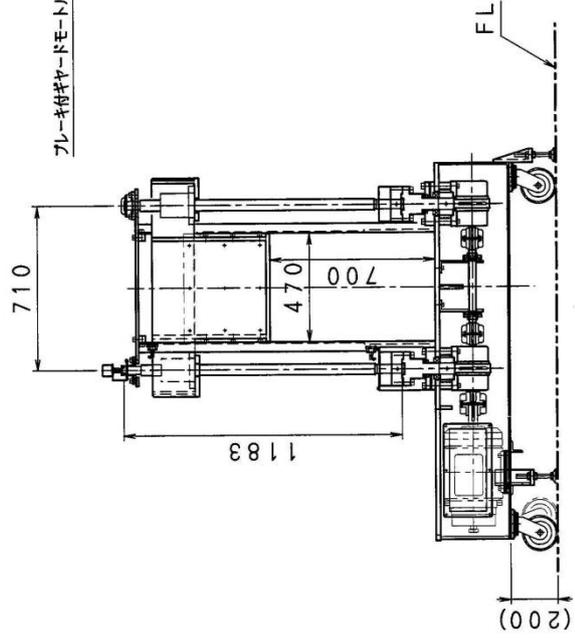
主仕様	
名称	圧縮減容機
形式	機械圧縮式
ベール寸法	約650LX470WX300H (mm)
圧縮力	30t (15tX2)
面積	10kg/cm <sup>2</sup>
電源	AC200V
主材質	SS400
電気容量	プレス部: 5.5kwX2台 プッシャー部: 0.75kw ゲート部: 0.2kw
重量	1.4t

図号	1	訂正内容		名義		数量		単位	
品名	圧縮減容機			設計		製図		承認	
型式	MPA-10-01			製図		製図		製図	
部番	M1202			製図		製図		製図	
製図	株式会社 物井工機			製図		製図		製図	
製図	・12.2.			製図		製図		製図	
製図	M2-K2-0200			製図		製図		製図	
製図	外観構造図			製図		製図		製図	
製図	1/20			製図		製図		製図	

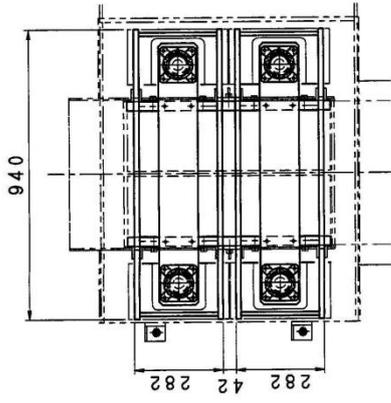
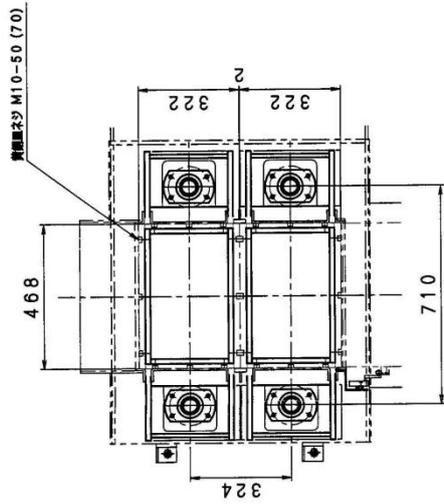
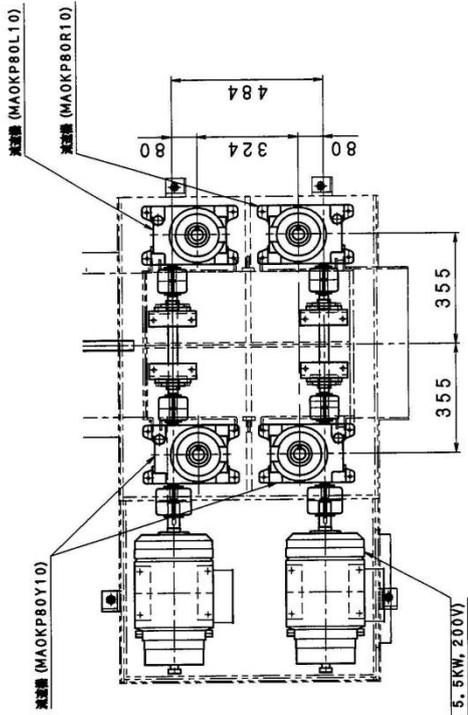
主仕様	
名称	圧縮減容機
形式	機械圧縮式
ベール寸法	約650LX470WX300H (mm)
圧縮力	30t (15tX2)
面圧	10kg/cm <sup>2</sup>
電源	AC200V
主材質	SS400
電気容量	プレス部: 5.5kwX2台
	プッシャー部: 0.75kw
	ゲート部: 0.2kw
重量	1.4t



全館外置型プレキ付モートル (5.5kw)

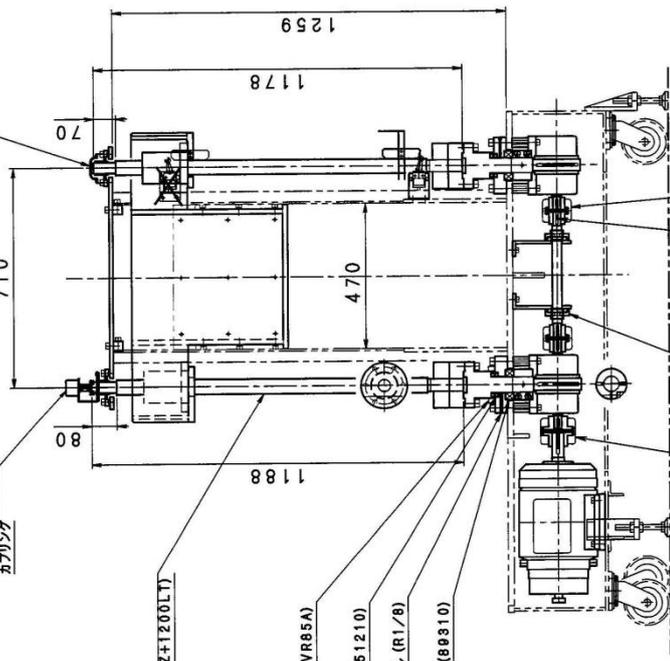
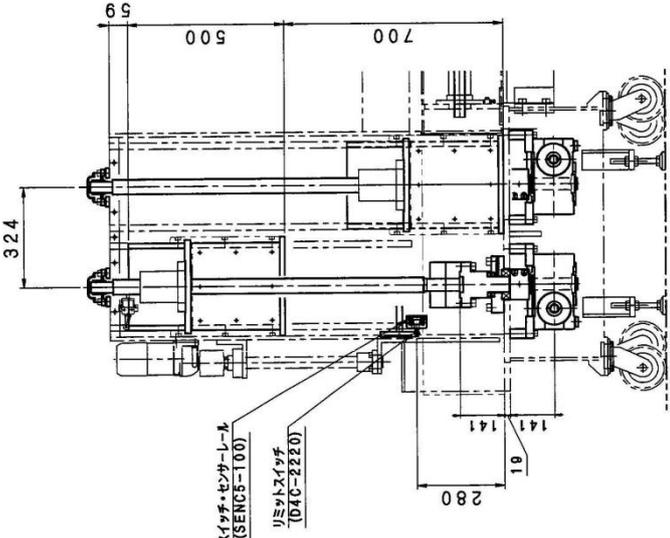


△	訂正日	訂正内容	訂正者	訂正日	訂正内容	訂正者
1						
品名	圧縮減容機		数量	1/20		
型番	MPA-10-01		設計			
部品	M1202		製造			
製	株式会社 物井工機		作成日	12.2.		
図	内部構造図		図			
番	M2-K2-0201		製			



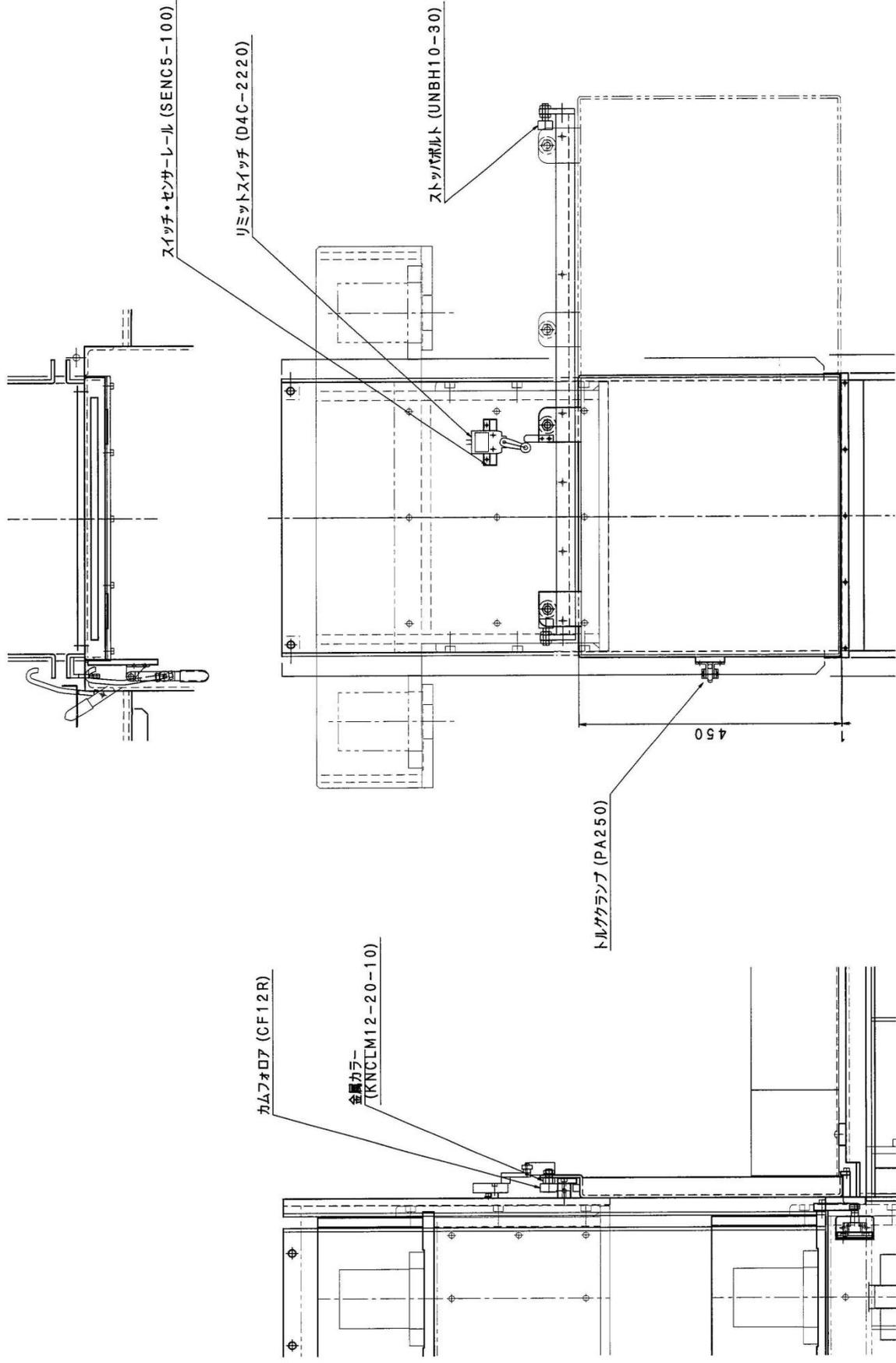
全額外置ブレーキ付モーター  
 (HBA-TFO-KK, 4馬, 5.5KW, 200V)

ロボリオンユニット  
 5アリアジ  
 肩アリアジユニット (GM-UCF207D1)

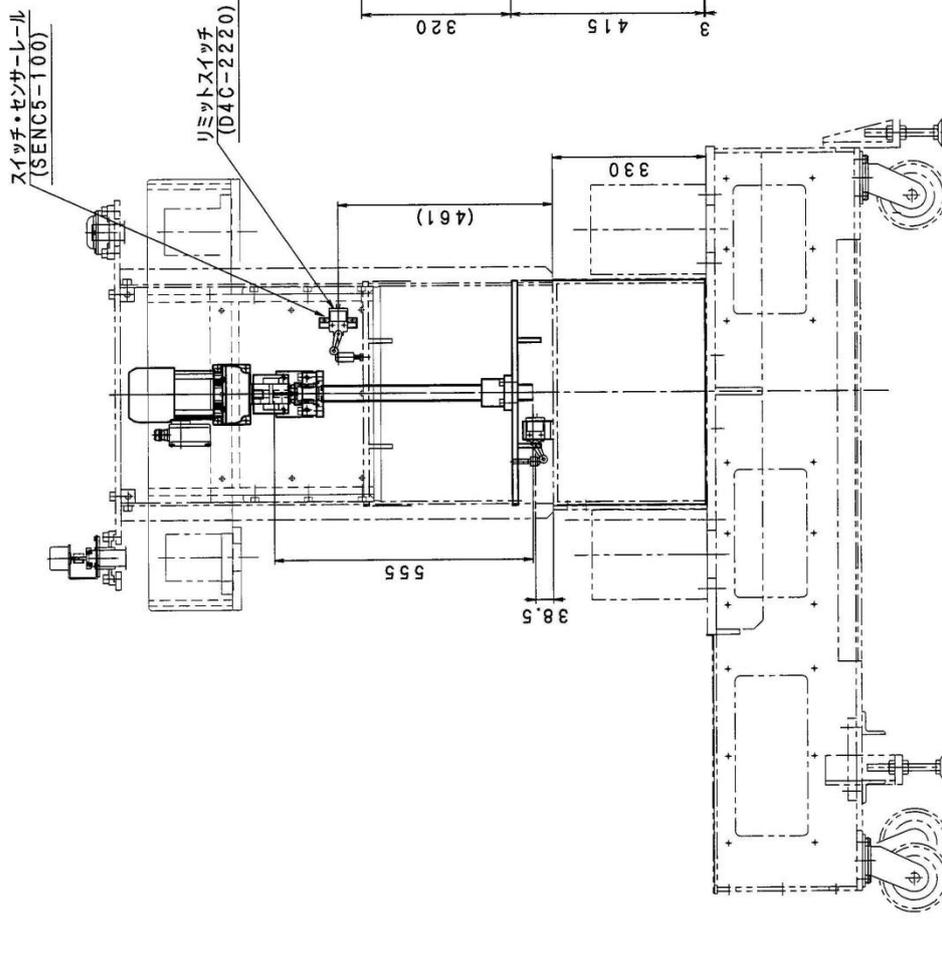
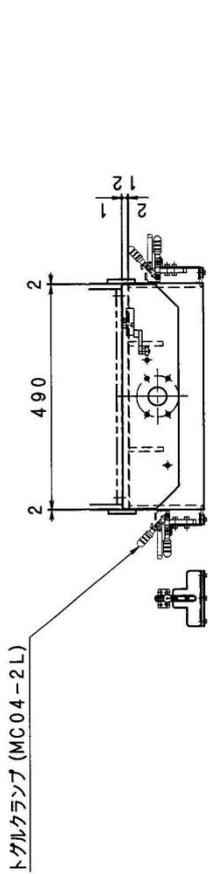
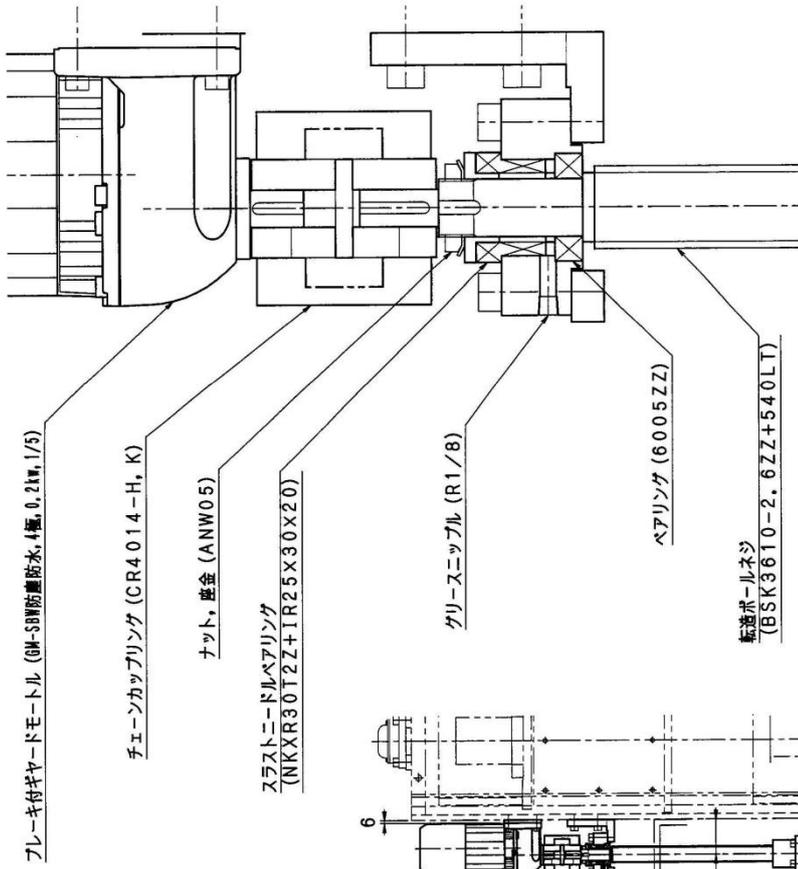


425  
 K5016-5.9ZZ+1200LT

図番	1	図名	減容機	縮尺	1/12
製図	MPA-10-01	設計	M1202	承認	12.02
製図	株式会社 物研工業	製図	物研工業	製図	M2-P2-0200



図号	1	図名	1/5
部名	投入部	部品・規格	MB-T2-0201
品名	MPA-10-01	数量	1
仕様	M1202	出所	投入部組立図
製	株式会社 物産工業	日付	'12.02
図		図番	M2-T2-0200



図号	訂正内容	名義	数量	大か	備考
1					
品名	圧縮機	品名	数量	出庫	MB-P2-0201R 1/8
規格	MPA-10-01	品名	数量	出庫	排出ゲート部
部品	M1202	品名	数量	出庫	
製	株式会社 物研工機	品名	数量	出庫	M2-G2-0200
日		品名	数量	出庫	
年		品名	数量	出庫	
月		品名	数量	出庫	
日		品名	数量	出庫	



## 4-2. 減容化装置の製作

写真-4.2.1～4.2.7に減容化装置の製作過程と完成形を示す。



写真-4. 2. 1 減容化装置 (側面)



写真-4. 2. 2 減容化装置 (後面)



写真-4. 2. 3 減容化装置 (ボールねじ部)



写真-4. 2. 4 減容化装置 (ボールねじ部下端)  
加圧版を降ろしきった状態

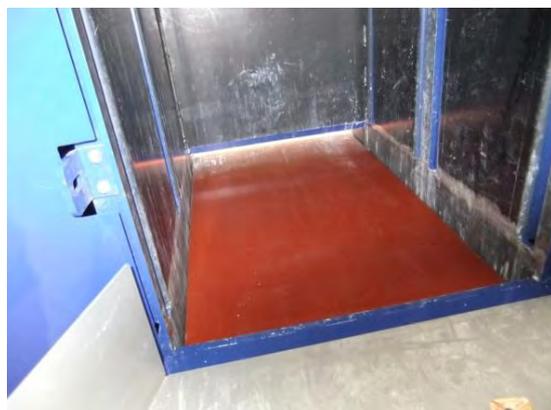


写真-4. 2. 5 減容化装置 (減容室内部)

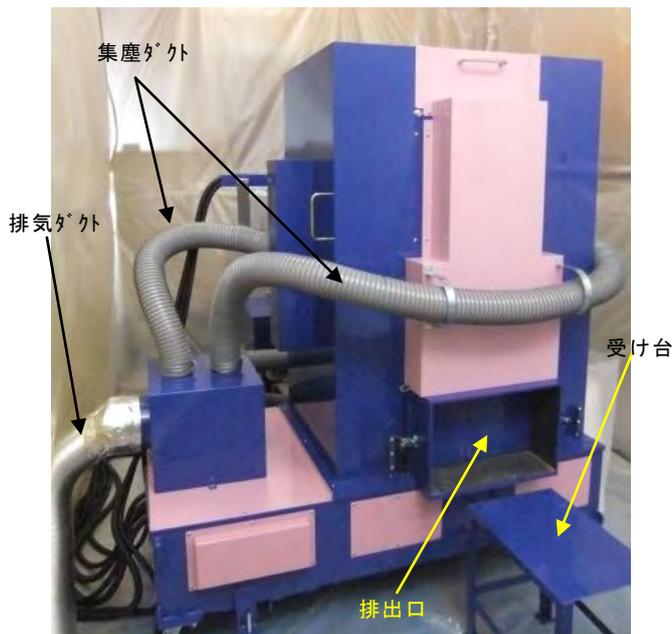


写真-4.2.6 減容化装置完成形(後面側全体)

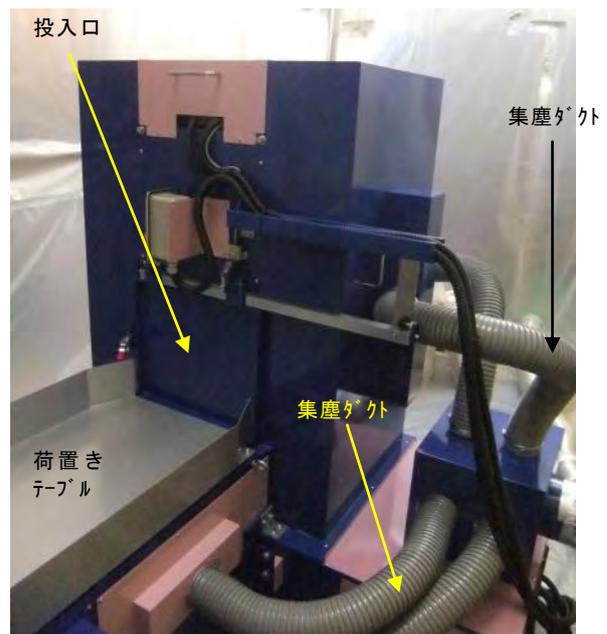


写真-4.2.7 減容化装置完成形(前面)

写真-4.2.1、4.2.3、4.2.4 に示すように圧縮プレス部は、2組のボールねじで別々の加圧版を上下させることで圧縮減容化を図っている。写真-4.2.5 に示すように減容室の側面には加圧版のガイドが上下するためのスリットが設けてある。また、圧縮減容時に生じる発塵が周囲に飛散するのを軽減させるため、減容化装置のケーシング各部に集塵ダクトを設置し、集合した上で排気ダクトを負圧除じん装置に接続することで、減容化装置ケーシング内を陰圧としている。

表-4.2.1 に機器仕様を示す。

表-4.2.1 開発した減容化装置仕様

項目	仕様	備考
形式	機械式圧縮減容機	
型式	MPA-10	
主要寸法	2135L×1620W×1975H(mm)	
減容室内法寸法	650L×470W×700H(mm)	
ペール寸法	650L×470W×300H(mm)	減容化後の仕上がり予定寸法
主材質	SS400	ケーシング類は鋼板塗装仕上げ
圧縮力	30ト (15ト×2)	
面圧	10kg/cm <sup>2</sup> ≒ 1N/mm <sup>2</sup>	
電源	AC200V (75A)	三相 200V(75A)の商用、発電機利用
電源容量	プレス部 : 5.5kW×2 基 プッシャー部 : 0.75kW×1 基 ゲート部 : 0.2kW×1 基	
重量	約 1.4ト	

5. 実証試験

5-1. 実証試験設備

1) 減容化装置試験設備

図-5.1.1 に減容化試験実証施設の平面図を示す。また、写真-5.1.1～5.1.2 に設置状況を示す。減容化試験実証施設は、(株)最上クリーンセンター(山形県最上具 mm 最上町東法田 928)内に設置されている、熔融無害化処理実証施設の投入設備棟 1F 前室内に設置した。



写真-5.1.1 減容化装置試験設備外観

減容化試験実証施設は、石綿除去工事で使用される養生用ビニルシート(t=0.15mm)による負圧管理区域とエアシャワーを有するセキュリティゾーン、負圧除じん装置で構成した。実証試験時は負圧管理区域内を常時-3~-6Paの負圧状態とすることで、石綿繊維の飛散防止を図った。

減容化試験実証施設は、ビニルシートで囲んだ 3m×5m(15 m<sup>2</sup>)、高さ 3m、容積 45 m<sup>3</sup>で、設置した負圧除じん装置(MDFU-7Z)の送風能力(5CMM)から計算した換気回数は、6.7 回/h である。

前後室に挟まれてエアシャワーを設置したセキュリティゾーンの各室仕切り部分は、ジッパー式の開口として、試験時にはジッパーを閉じた状態とすることで、負圧管理区域内を常時、-3~-6Pa に維持した。

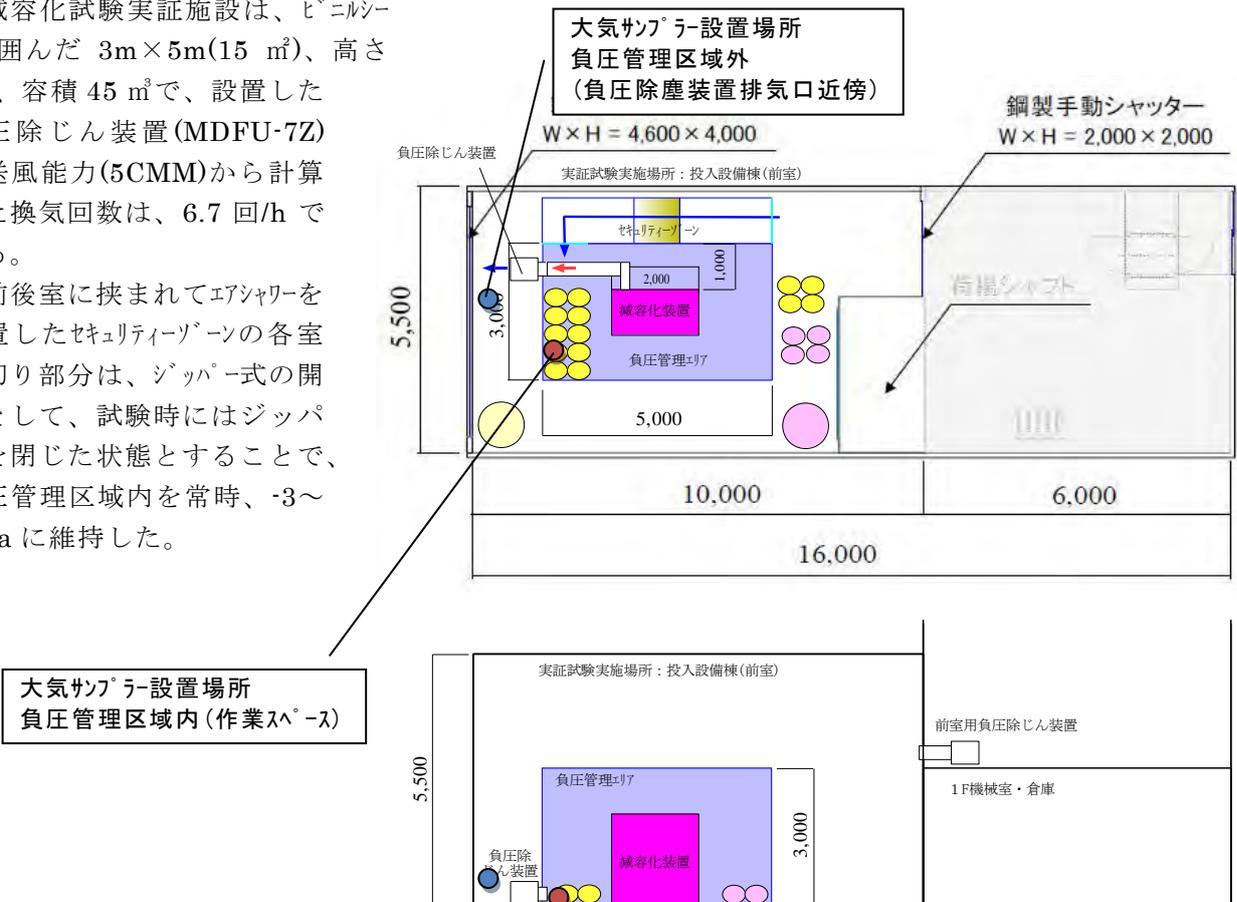


図-5.1.1 減容化装置試験設備(平面・立)概要図

## 2) 溶融無害化処理設備

写真-5.1.2に本件試験での溶融無害化処理に使用した実証設備を示す。投入設備棟は、1階前室、1階機械室(エアシャワー、コンプレッサー)、2階機械室(スクリュコンベア)、3階機械室(破砕機)、4階機械室(受入ホップ、3重ゲート)、5階投入室(投入口、荷揚げ設備)から構成されている。



写真-5.1.2 溶融無害化処理で使用した実証試験設備

二重ビニル袋詰めされた試験体（配管保温材）は、①投入口より②重ゲート式受入ホッパを通じて③破砕機で破砕され、⑤切出・⑥位相・⑦投入1・⑧投入2の各スクリュウコンベアによって搬送され、⑧流動化調整材と共に⑩溶融炉に投入される。溶けた試験体は、⑪湯口より連続的に排出され、水冷固化され水砕スラグとして回収される。

溶融炉内で発生した高温の排ガスは、⑫空気予熱器、⑬排ガス冷却塔、⑭サイクロンを経由し、⑮バグフィルタにて除じん後、⑯誘引ファンにて⑰排気塔より排出される。

この際、④負圧除じん装置によって、投入設備棟内および②～⑨の設備内を負圧状態とすることで、石綿繊維の飛散防止を図る。

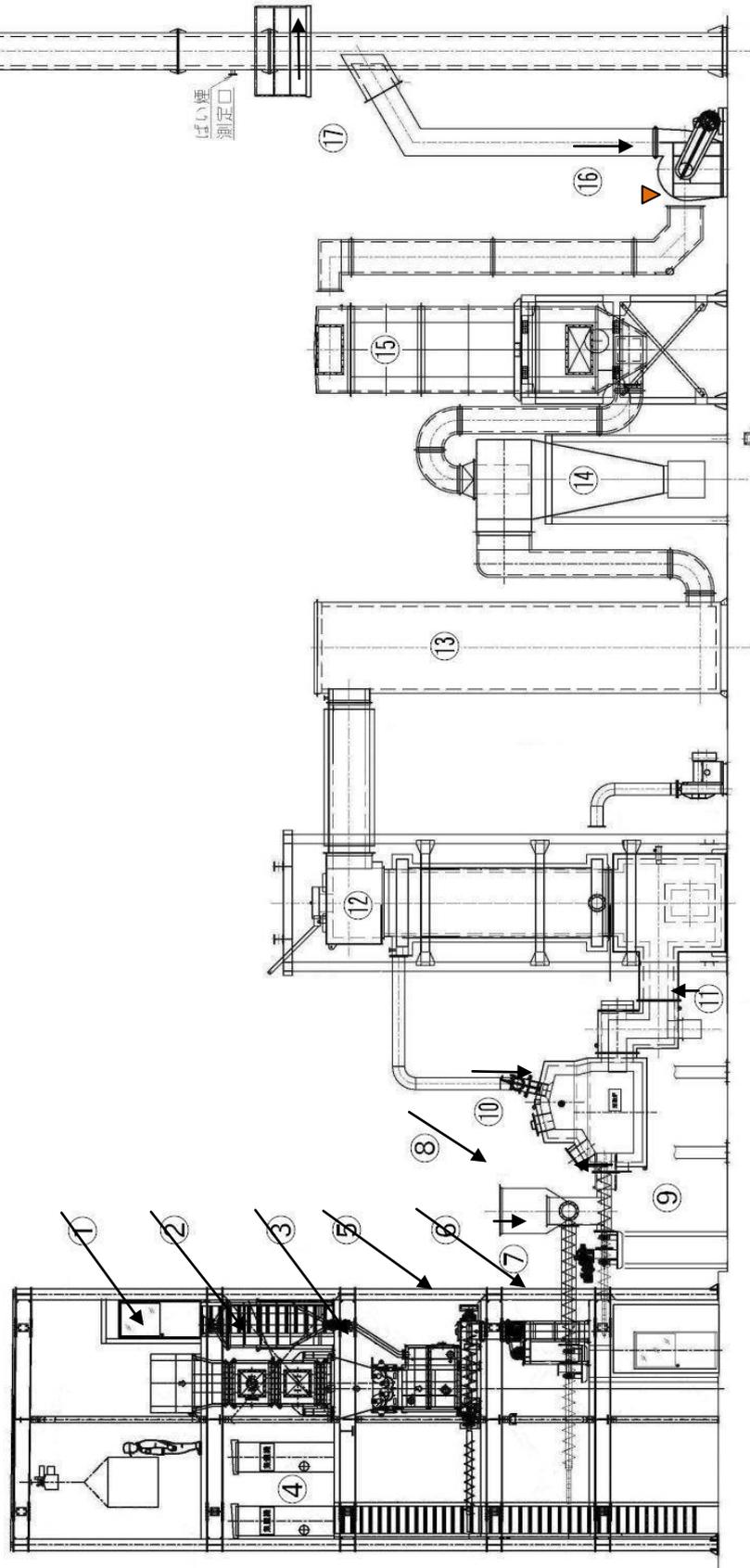


図-5.1.2 溶融無害化処理の実装試験設備の概観・処理フロー

## 5-2. 実証試験内容

### 1) 試験体

減容化および減容化後の破碎溶解試験に用いた試験体(処理対象物)を表-5.2.1に示す。

表-5.2.1 試験体(処理対象物)と石綿含有率

処理対象物	含有する石綿成分	石綿含有率
保温材(非石綿)	—	—
保温材(みなし)	—	0.1%未満
石綿含有保温材	アモサイト	18%

### 2) 実証試験項目

実証試験ケースを表-5.2.2に示す。減容化試験では、ビニル袋詰された保温材の減容化装置への投入方法や、一度の減容化作業での処理量、単位時間当たりの処理量の確認を行った。一方、破碎溶解試験は、減容化された保温材(ビニル袋4体で1つの塊)の破碎溶解処理状況を、減容化しない保温材と比較検証した。

表-5.2.2 減容化および溶解無害化処理実証試験ケース一覧

試験ケース	着目点	試験内容
減容化試験1	入れ方	減容化装置への配管保温材(2重ビニル袋梱包)の入れ方、ビニル袋破袋の有無による減容化性状の確認
減容化試験2	量	一度に減容化するビニル袋の量の確認
減容化試験3	能力	1時間当たりの処理能力(最大値の把握)の確認
減容化試験4	排出方法	減容化され排出される配管保温材の袋詰方法の検証
	①ビニル袋入れ	減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰め、ゲースネック縛り
	②同上	減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰め、形状維持
	③同上	減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰め、背板利用
	④ダンボール箱利用	減容化装置の出口で直接ダンボール箱に詰め、ビニル袋梱包
無害化試験	①減容化物対応	減容化した配管保温材の塊の破碎溶解性状の確認
	②参照対応	減容化していない配管保温材の破碎溶解

### 3) 石綿繊維の飛散・含有分析項目

実証試験に際しては、表-5.2.3に示す石綿繊維の飛散・含有計測分析を実施した。

表-5.2.3 実証試験での石綿繊維飛散・含有計測分析一覧

試験条件	サンプル採取場所	サンプルリグ時の作業内容			サンプルリグ条件
減容化試験	負圧管理(作業)区画内	試験前	試験中	清掃中	吸引流量:10ℓ/min 採気時間:240min 採気量:2400ℓ JIS K3850 位相差顕微鏡・計数法による分析
	負圧管理(作業)区画外				
	負圧除じん装置排気口付近				
	試験室外 玄関	—	—		
	試験室外 前室シャッター前	—	—		
溶解無害化試験	試験室外 玄関	試験前	試験中(溶解)	試験後	
	試験室外 窓外				
	試験室外 前室シャッター前(外)				
	試験室外 バグ前				
	試験室外 排気口下				
	試験室外 湯口付近				
	試験室内 1F 前室				
試験室内 5F 投入室					
減容化試験	減容機堆積粉じん	—	—	試験後	直接採取 JIS A1481 X線回折分析法、位相差・分散顕微鏡仕様に基づく分散染色法で分析
	負圧除じん装置1次フィルタ堆積粉じん	—	—	試験後	
溶解無害化試験	溶解スラグ	—	試験中	—	
	水砕時の水	—		—	
	煙道付着物	—	—	試験後	

### 5-3. 実証試験結果

#### 1) 減容化試験

##### a) 減容化試験 1

試験内容：減容化装置への配管保温材(2重ビニル袋梱包)の入れ方、ビニル袋破袋の有無による減容化性状の確認

まず、製品購入して乾燥炉で含有水分を4%以下にまで乾燥させた配管保温材サンプルを用いて減容化装置の稼働状況を確認した。呼径300mm(内径319mm)、全長610mm、4分割の配管保温材片4個を大ビニル袋に詰めたものを試験験体として減容化性状を検証した。

写真-5.3.1に示すように、開発した減容化装置には、写真-5.3.2の左側に示す4枚重ねの保温材片をビニル袋詰した試験体をそのまま減容化室に投入できる。減容化後は、写真-5.3.2の左側に示すようにまな板上に圧縮減用されている。この時、圧縮されたビニル袋内の空気は、袋が破けた際に隙間から粉じんと一緒に噴出する。

写真-5.3.3は、実証試験設備(負圧管理区域)において、実際に使用されていた配管保温材(みなし)を試験体として減容化試験実施時の隙間からの粉じん飛散性状の例である。また、写真-5.3.4～5.3.5には減容化装置の主な隙間位置を示す。減容化装置には、粉じん飛散を防ぐために吸引ダクトを設置しているが、圧縮された空気の噴出に伴う粉じん飛散までは集じんしきれない。そのため、減容化に際しては、なるべく破袋しないように、ビニル袋の閉じ口をカッターで開放するなどの処置を講じた方がよい。排出口に大ビニル袋を掛けて密閉できる場合は、投入するビニル袋入り配管保温材の開口を排出口側に、そうでない場合は投入側にした方が、周囲への飛散を軽減できることが判明した。

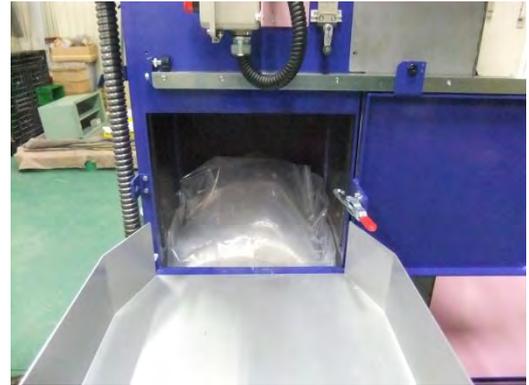


写真-5.3.1 製品サンプル投入状況



写真-5.3.2 製品サンプルの減容化前と後



写真-5.3.3 圧縮された袋内空気の噴出による粉じん飛散状況の例



写真-5.3.4 排出口側の隙間

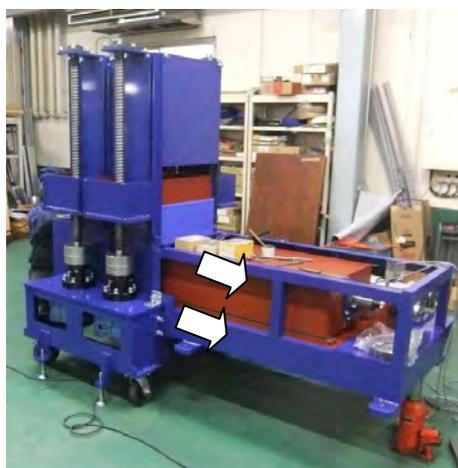


写真-5.3.5 投入側側の隙間



空気の噴出による粉じん飛散が想定される箇所

## b) 減容化試験 2

試験内容：一度に減容化するビニル袋の量の確認

まず、製品購入して乾燥炉で含有水分を 4%以下にまで乾燥させた呼径 300mm(内径 319mm)、全長 610mm、4 分割の配管保温材片 4 個を大ビニル袋に詰めたものを試験体として減容化量を検証した。写真-5.3.6 に示すように、配管保温材を筒方向に立てた状態の物プルも使って減容化試験を行ったところ、写真-5.3.7 に示すように減容化装置の減容室に入る量の試験体(配管保温材)を長方形に圧縮されることを確認した。



写真-5.3.6 試験体の準備状況

次に、実際に除去され 2 重ビニル袋梱包された保温材をサンプルとして、減容化装置へ投入、圧縮減用化した状況を写真-5.3.8～5.3.9 に示す。写真のように、2 重ビニル袋梱包された保温材 2 体を減容室に入れて圧縮減用化すると、減容室いっぱいになり元の高さの 1/3 程度に減容化される。この状態で再度 2 重ビニル袋梱包された保温材を入れて減容化を続けると、3 回分、計 6 体を 1 つの大ビニル袋に梱包できるまでに減容化が可能であることを確認した。写真-5.3.10 に減容化後のビニル袋梱包された保温材 5 体を大ビニル袋に入れた状況を示す。ただし、この状態では大ビニル袋の重量が、18～20kg となり、実際の解体除去工事現場で、負圧管理区域から運び出すには重すぎることを予想された。



写真-5.3.7 試験体の減用化後の排出状況

写真-5.3.8 に示すように、減容化室にはビニル袋梱包された保温材を一度に 4 体は投入可能である。写真-5.3.11 は、4 体一度に減容化した際の排出状況である。減容化装置の排出口に大ビニル袋を設置して排出すると、4 体のビニル袋が圧縮減用化されて長方形となったまま、大ビニル袋に入ることを確認した。以上、勘案すると減容化装置へのビニル袋梱包された保温材投入量は一度に 4 体を基準とするものとした。



写真-5.3.8 試験体(2体)の投入状況



写真-5.3.9 試験体(2体)の圧縮減用化状況



写真-5.3.10 試験体(4体)圧縮後の大ビニル袋詰状況



写真-5.3.11 試験体(4体)一括減容化後の排出状況

### c) 減容化試験 3

試験内容：1時間当たりの処理能力（最大値の把握）の確認

写真-5.3.12～5.3.18に一連の減容化の作業を示す。減容化作業は、以下に示す条件で実施しサイクルタイムと1時間当たりの作業量を計測した。

作業条件：負圧管理区画内で防護衣、防護マスクを着用した作業員1人で作業した

減容化条件：中サイズビニル袋梱包の配管保温材廃棄物4袋を大サイズビニル袋1体に減容化。

その他：中サイズビニル袋1体当たり3～6kg(解体除去サンプルは3kg、試験用サンプルで6kg確認)

サイクルタイム：1サイクル当たり3～4分、時間当たり大ビニル袋20体(中サイズビニル袋80袋)最大

減容化装置の処理能力：240～480kg/h（中サイズビニル袋80袋、20回の減容化作業）



写真-5.3.12  
減容化する保温材  
準備(袋の縛り口  
をカッターで破る)



写真-5.3.13  
保温材(4体)を減  
容化装置投入、減  
容開始開始(スイッ  
チのみ)



写真-5.3.14  
受入用の大ビニル  
袋準備



写真-5.3.15  
排出口に受入用の  
大ビニルを被せる



写真-5.3.16  
受入用の大ビニル  
袋への排出状況を  
確認



写真-5.3.17  
受入用の大ビニル  
袋への排出完了を  
確認後、排出口か  
ら外す



写真-5.3.18  
受入用の大ビニル  
袋の口を縛って梱  
包する

防護衣とマスクを着用した作業は、解体除去工事と同様に、連続2時間程度が限度と推定される。

実際の除去工事で排出された配管保温材の試験体は、中サイズビニル袋1つ3kg程度で、15～17袋1㎡の丸フレコンバッグ1体であったことから、減容化装置の処理能力をフレコン単位でみると、約5フレコン/hとなる。

#### d) 減容化試験 4 ①ビニル袋入れ

試験内容：減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰めグースネック縛り

中サイズビニル袋梱包の配管保温材廃棄物 4 袋を圧縮減容して大サイズビニル袋 1 体とする際に、直接袋詰して開口をグースネック縛りで梱包する状況を確認した。写真-5.3.19～5.3.22 に状況を示す。

写真では、見やすいように大サイズ透明ビニル袋を用いた。この事例では、中サイズビニル袋に購入した配管保温材の破砕片を詰め、1 袋当たり 5～6kg の条件とした。大サイズビニル袋は、中サイズビニル袋 4 袋を一度に減容化して余裕を持って袋入れでき、開口部分のビニル袋を絞ってビニルテープでグースネック縛りも容易に可能である。

減容化後の大ビニル袋詰め保温材は、グースネック部分を持って運搬し、立てて置かれることが想定される。写真-5.3.21 は大ビニル袋詰め保温材を立てて置いた状態である。大ビニル袋は、圧縮減容化した保温材 4 体を内包しても空間に余裕があるため、運搬に伴い写真のように、減容化した保温材がバラけてくる。写真-5.3.22 は連続減容化処理した前後の比較であり、減容化前の中サイズビニル袋 16 個を 4 個づつ減容化して大袋 4 体に入れた。この試験では、写真に示すように、実際の解体除去現場で排出された保温材を試験体としており、のように、中サイズビニル袋 1 個当たり 3kg 程度の内容量であるため、減容化して 4 個を大サイズビニル袋に入れた状態でグースネック縛りしても、空間に余裕があり、当初は板状に成形されていたものがバラけて写真のような丸まった袋形状となった。



写真-5.3.19 試験体(4体)圧縮後の大ビニル袋詰状況



写真-5.3.20 試験体(4体)大ビニル袋詰、グースネック縛り



写真-5.3.21 試験体(4体)大ビニル袋詰、グースネック縛り後に立てた状態



a) 減容化後(大袋4体)



b) 減容化前(中袋16個)

写真-5.3.22 試験体(4体)減容化前後の比較

e) 減容化試験 4 ②ビニル袋入れ

試験内容：減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰め、形状維持

中サイズビニル袋梱包の配管保温材廃棄物 4 袋を圧縮減容して大サイズビニル袋 1 体とする際に、直接袋詰して、減容化時の長方形形状を維持するように開口を絞りガムテープで留めて梱包する状況を確認した。写真-5.3.23 に状況を、また写真-5.3.24 に参照のため通常のグースネック縛りの状況を示す。

写真に示すように、長方形形状を維持するように梱包した場合は、グースネック縛りのように持ち手になる部分が無いので、片手で持ち運び(1 袋重量は 12kg 前後)することができず、両手で抱えて運ぶ必要がある。そのため、運搬の際に大サイズビニル袋内で減容化した保温材がバラケることはなく、写真のように、ほぼ長方形体の形状を維持している。

一方、グースネック縛りした場合は片手で持ち運びできるので、どうしても運搬に際して大サイズビニル袋内で減容化した保温材がバラケ、個々の袋の形状を一定に保つことが難しい。写真に示すように、長方形形状を維持するように梱包した場合と比較して積み重ねた際の嵩容積が大きくなる傾向が伺える。



写真-5.3.23 試験体(4 体)圧縮後の大ビニル袋詰  
状況 長方形形状維持を意識した場合

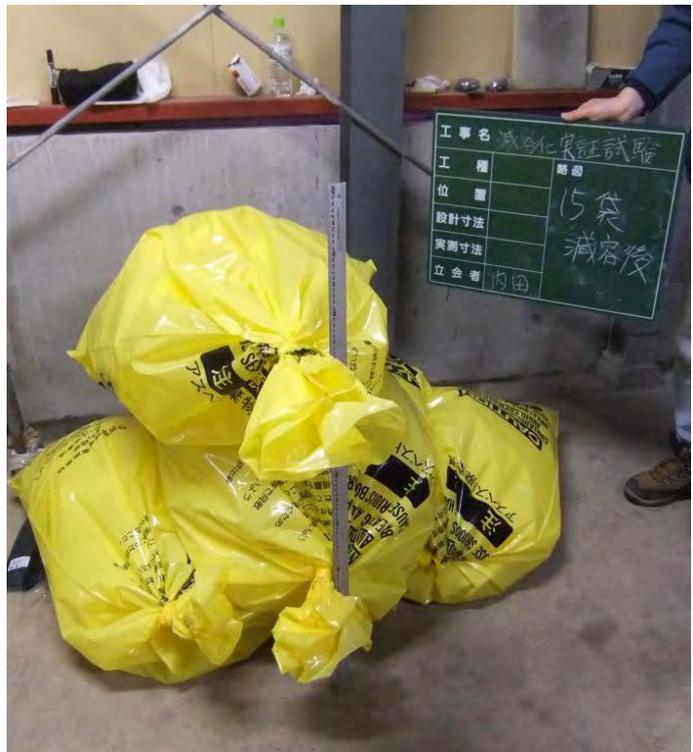


写真-5.3.24 試験体(4 体)大ビニル袋詰、グースネック縛り

#### f) 減容化試験 4 ③ビニル袋入れ

試験内容：減容化装置の出口で直接ビニル袋に詰め、背板利用

中サイズビニル袋梱包の配管保温材廃棄物 4 袋を圧縮減容して大サイズビニル袋 1 体とする際に、大サイズビニル副炉内に瀬板となるプラスチック板を入れて袋詰して開口をグースネック縛りで梱包する状況を確認した。写真-5.3.23～5.3.24 に状況を示す。

写真では、見やすいように大サイズ透明ビニル袋を用いた。この事例も、中サイズビニル袋に購入した配管保温材の破砕片を詰め、1 袋当たり 3kg の条件とした。背板を入れても大サイズビニル袋は、中サイズビニル袋 4 袋を一度に減容化して余裕を持って袋入れでき、開口部分のビニル袋を絞ってビニルテープでグースネック縛りも容易に可能である。

背板を入れることでグースネック縛りした際に減容化した配管保温材 4 袋を長方形形状を保って梱包することが容易となった。これは、背板を入れることで大サイズビニル袋の口を絞った際により内容物(減容化した保温材)と袋が密着することで型崩れを防ぐ効果があるものと推察される。



写真-5.3.23 試験体(4 体)圧縮後の大ビニル袋詰  
状況 長方形形状維持を意識した場合



写真-5.3.24 試験体(4 体)大ビニル袋詰、グースネック縛り

#### g) 減容化試験 4 ④ダンボール箱利用

試験内容：減容化装置の出口で直接ダンボール箱に詰めビニル袋梱包

減容化後の保温材形状を運搬仮定によらず一定サイズとする方法として、減容化装置の排出口で直接ダンボール箱に入れる方法を検証した。写真-5.3.25～5.3.26 に箱入れ状況を示す。市販品では形状サイズの最適なダンボール箱が得られなかったため、ここではサイズ加工(幅×奥行×高さ：550mm×270mm×750mm)した段ボール箱を用意して用いた。

写真に示すように、ダンボール箱はビニル袋のように減容化装置の排出口に固定せずに受け台の上に置いただけの状態としたが、写真-5.3.25 に示すように、自動排出された減容化後の配管保温材は問題なく箱内に収まることを確認した。この例では、ダンボール箱の大きさは、減容化後の配管保温材の長方形の塊よりもやや大きくしており、スムーズに箱入れされたものと推察され、ダンボール箱の固定方法などを確定することで、より最適サイズの箱サイズにできる可能性がある。

写真-5.3.27 にダンボール箱入れした減容化後の保温材を大サイズビニル袋に入れて開口をグースネック縛りで梱包した状態を示す。この事例では、ダンボール箱サイズに余裕があるので、グースネック縛り部分を箱内に押し込んでしまえば、長方形形状を維持することができ、収集運搬時の積み上げ、空間効率を向上させることができる。



写真-5.3.25 試験体(4体)圧縮後のダンボール箱詰状況 排出口に直接ダンボール箱を設置



写真-5.3.26 試験体(4体)圧縮後のダンボール箱詰状況 ダンボール箱に圧縮後の保温材が入った状況



写真-5.3.27 試験体(4体)圧縮後のダンボール箱詰状況 ダンボール箱の大サイズビニル袋入状況



写真-5.3.28 試験体(4体)圧縮後のダンボール箱詰状況 大サイズビニル袋入れした保温材をダンボール箱入れして2重目のビニル袋入れした状況

## 2) 熔融無害化試験

### a) 作業状況

写真-5.3.29～5.5.3.31 に熔融無害化試験での作業状況を示す。減容化後の大サイズビニル袋入りの配管保温材は、1体ずつ手作業で投入口に投入した。熔融無害化試験に用いた投入設備一体型熔融炉の投入口は90cm角の大きさがあるので、大サイズビニル(850×1280mm)梱包された保温材1体を投入しても余裕があり、投入作業に問題はなかった。また、写真-5.3.31に示すようにゲートの開放に伴って、減容化後の大サイズビニル袋入りの配管保温材は、縦向きに下に落ちるが、投入ゲート間の高さも90cmを確保しているため、ゲートの開閉などに不具合もなく作業ができることを確認した。

破砕機での破砕状況も問題なく、減容化していない配管保温材よりも破砕時間はむしろ短い傾向であった。これは、圧縮減容化された大サイズビニル袋詰め配管保温材は重量があり、破砕機の歯に対して角度をもって投入されるため、直ちに破袋、破砕されると、圧縮減容化の時点で円筒形状を破壊されていることによるものと推察される。

本件試験においては、減容化後の大サイズビニル袋入り配管保温材の熔融無害化に際して、投入設備一体型熔融炉の稼働に問題はないことを確認した。

一方、作業員の作業環境を考えると、投入設備一体型熔融炉の事業化時の処理能力である、時間1ト(処理対象物900kg、流動化調整材100kg)を勘案すると、1時間当たり60～75回、すなわち1分～48秒に1回の投入作業となる。大サイズビニル袋入り配管保温材は1体12～15kg程度の重量があるので、写真に示すように投入口へ手作業で投入する作業を、一日6時間の実働とすると360～450回繰り返すことになり、大変な重労働となる。そのため、供用施設での作業を想定した場合、傾斜付きローラーコンベアなどの搬送を補助する機構の設置が必要と想定される。

写真-5.3.32～5.3.39には、熔融無害化試験時の大気カプセル採取状況を示す。



写真-5.3.29 減容化後の大サイズビニル袋の投入口への投入状況



写真-5.3.30 減容化後の大サイズビニル袋の投入口への投入直後の状況



写真-5.3.31 減容化後の大サイズビニル袋の投入口へ投入後、ゲート解放時の状況



写真-5.3.32 大気サンプル採取(5F 投入室)



写真-5.3.33 大気サンプル採取(湯口付近)



写真-5.3.34 大気サンプル採取(玄関)



写真-5.3.35 大気サンプル採取(窓下)



写真-5.3.36 大気サンプル採取(シャッター前)



写真-5.3.37 大気サンプル採取(バグ前)



写真-5.3.38 大気サンプル採取(排気口下)



写真-5.3.39 大気サンプル採取(1F 前室)

b) 分析結果

実証試験に際して実施した石綿繊維の飛散及び含有計測分析結果を表-5.3.1～5.3.2に示す。

表-5.3.1 実証試験での石綿繊維飛散計測分析結果

No.	測定(サンプル採取)場所	基準値 (本/l)	測定結果(本/l)				備考
			試験前	試験中	試験後	清掃中	
1	負圧管理(作業)区画内	0.5/150	0.15 未満	10	—	10	石綿繊維の飛散が確認されたのは、減容化装置を設置した負圧管理区画内の試験中および清掃作業中のみであった。 減容化試験及び溶融無害化試験中及び前後においても、試験設備周辺、試験室内での石綿繊維の飛散は確認されなかった。
2	負圧管理(作業)区画外 負圧除じん装置排気口付近	0.5	0.15 未満	0.15 未満	—	0.15 未満	
3	試験室外 玄関	0.5	0.15 未満	0.15 未満	—	—	
4	試験室外 前室シャッター前	0.5	0.15 未満	0.15 未満	—	—	
5	試験室外 玄関	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
6	試験室外 窓下	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
7	試験室外 前室シャッター前	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
8	試験室外 バグ前	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
9	試験室外 排気口下	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
10	試験室外 湯口付近	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
11	試験室内 1F 前室	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	
12	試験室内 5F 投入室	0.5	0.15 未満	0.15 未満	0.15 未満	—	

表-5.3.2 実証試験での石綿含有計測分析結果

No.	測定(サンプル採取)場所	定性分析結果				石綿含有判定結果		備考
		X線回折分析法		分散染色法		石綿有無	石綿種類	
		石綿有無	石綿種類	石綿有無	石綿種類			
1	堆積粉じん(減容機 加圧版上)	有り	Amo	無し	—	無し	—	減容化試験での堆積粉じん及び溶融無害化試験後の生成物の石綿含有分析の結果、石綿含有が確認されたのは、堆積粉じんの一部と除じんファンフィル付着物のみであり、溶融無害化試験後の生成物では検出されなかった。
2	堆積粉じん(減容機 フッシャー脇)	無し	—	無し	—	無し	—	
3	堆積粉じん(減容機 出口付近)	有り	Amo	無し	—	無し	—	
4	堆積粉じん(減容機 床残滓)	有り	Amo	無し	—	無し	—	
5	溶融スラグ 14時採取	無し	—	無し	—	無し	—	
6	溶融スラグ 15時採取	無し	—	無し	—	無し	—	
7	溶融スラグ 16時採取	無し	—	無し	—	無し	—	
8	水砕時の水	無し	—	無し	—	無し	—	
9	除じんファン1次フィル付着物	有り	Amo	無し	—	無し	—	
10	煙道付着物	無し	—	無し	—	無し	—	

注1) X線回折分析法は JIS A 1481 による X線回折装置の条件に基づく X線回折定性分析法のこと。

分散染色法は、JIS A 1481 による位相差・分散顕微鏡の仕様に基づく分散染色法のこと。

注2) 種類の項には、次の記号で記載している。

Chr:クリソタイル Amo:アモサイト Cro:クロシドライト Tre/ Act:トレモライト/アクチノライト、  
Ant:アンソフィライト

## 6. 減容化効果の推定

### 6-1. 処理規模と効果

処理規模に応じた減容化のコストダウン効果、CO2 削減効果を試算した。表-6.1.1 にトラック関係の原単位を、表-6.1.2 に無害化処、最終処分場での埋立処分、減容化装置利用の仮定条件を示す。

表-6.1.1 トラックの車種別積載数量、運搬費、CO2 排出量

トラック仕様・仕様 <sup>1)</sup>		積載数量 <sup>2)</sup>		首都圏～山形間想定 <sup>3)</sup>		
車種	荷台寸法(cm)	フルコン	圧縮体	運搬費(円)	燃料(ℓ)	CO2 排出量(Kg-CO2/台)
2t 車	W:162×L:312	3	72	97,412	131	343
2tlong 箱車	W:205×L:431×H:207	16	100	97,412	131	343
4t 箱車	W:213×L:579×H:223	20	200	105,800	184	482
4tlong ウィング車	W:240×L:624×H:232	24	200	105,800	184	482
15t 車	W: 241×L:1002	30	360	136,400	306	802
15t ウィング車	W: 241×L:1002×H:265	40	540	136,400	306	802

- 1) 廃石綿等の収集運搬に利用される代表的車種、荷台寸法を採用。
- 2) 1 m<sup>3</sup>丸フルコンパック寸法を 1m 立方換算。平ボディ車は下段 2 列の場合、上段 1 列、箱及びウィング車は上下 2 列のフルコンパック積載。圧縮体寸法：W:50×L:70×H：25cm、ばら積み(ラック)を想定
- 3) 走行距離(片道)：460km。燃費：7km/ℓ(2t)、5km/ℓ(4t)、3km/ℓ(15t)。CO2 排出係数：2.62Kg-CO2/ℓ。  
CO2 排出量＝燃料消費量×CO2 排出係数

表-6.1.2 溶融無害化処理、最終処分場埋設処理、減容化装置利用条件

項目	条件
石綿含有保温材(減容化なし)の溶融無害化処理費	180,000 円/トン、比重:0.1 トン/m <sup>3</sup> 未満(実質:57kg/m <sup>3</sup> )
石綿含有保温材(減容化あり)の溶融無害化処理費	150,000 円/トン、比重:0.1 トン/m <sup>3</sup> 以上(実質:200kg/m <sup>3</sup> )
石綿含有保温材の最終処分場での埋設処分	35,000 円/m <sup>3</sup>
減容化装置	①装置価格:1400 万、②金利:0 万、③耐用年数:10 年、④稼働率:30%、⑤メンテナンス費用:100 万/年 ①+②+③×⑤)/(③×365×④)=21,917 円 ①+②+③×⑤)/(③×365×④)=21,917 円 整備費：100,000 円/回、運搬費：97,142 円/回(2t 車)
	①+②+③×⑤)/(③×365×④)=21,917 円 整備費：100,000 円/回、運搬費：97,142 円/回(2t 車)

表-6.1.3 に減容化しない場合の処理容積を基準として算定した減容化の効果計算結果を示す。また、図-6.1.1 に運搬費の比較を、図-6.1.2～6.1.3 に運搬及び溶融無害化処理もしくは埋立処分を含む全費用の比較結果を示す。

単純に運搬費のみを比較すれば、減容化することで 1 台の車で運べる石綿含有保温材の量が増えるので、運搬する容積(減容前容積)が多い程、運搬費は安くなる。ただし、少量(20m<sup>3</sup> 以下)の場合は、2t 車利用を前提とすれば同一料金となる。減容化による運搬費の軽減効果が得られるのは、20m<sup>3</sup> 以上の処理量の場合で、処理量が約 100m<sup>3</sup> を超えると、運搬費用は 1/3～1/4 弱とできる。例えば、減容化前容積が 1,000 m<sup>3</sup> の場合、減容化なしでの運搬費は 341 万円であるが、減容化した場合は約 7

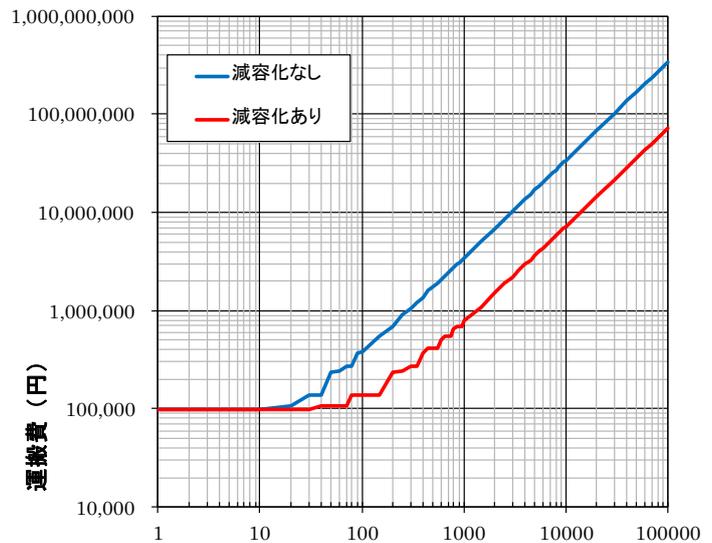


図-6.1.1 減容前容積を基準とした減容化有無の運搬費の比較結果

万円、減容化すると 723 万円となる。

図-6.1.2 の横軸は 1,000 m<sup>3</sup>までの減容化前容積、縦軸は処理費用総額で、共に対数軸表している。図に示すように、最終処分場での埋立処分費用を 35,000 円/立米で仮定した場合、m<sup>3</sup>当たりの処理費用は減容化して熔融無害化処理した場合と埋立処分した場合ほぼ同等となる。減容化した場合は、初期費用として減容化装置のレンタル代(日額:22,000 円、整備運搬費:197,142 円を設定)が掛かるため、約 10 m<sup>3</sup>までは減容化なしで埋立処分した方が処理費総額は安価である。また 50 m<sup>3</sup>~80 m<sup>3</sup>では、減容化なしで無害化した場合と減容化した場合の処理費用総額がほぼ同額となる。

熔融無害化あるいは最終処分場への埋立処分によらず、処理費用総額で減容化の効果が得られるのは、大略 100 m<sup>3</sup>以上の処理容積の場合となる。例えば、減容化前容積 1,000 m<sup>3</sup>(57 トン)の場合、減容化なしで埋立処分した場合が最も費用が掛かり 3,841 万円、次いで減容化無しに熔融無害化処理した場合で 1,367 万円、減容化して埋設処分した場合は約 1,006 万円、減容化して熔融処理した場合が最も安価となり約 986 万円である。これは、直接埋設した場合の約 1/4 の費用で済むことになる。

1,000 m<sup>3</sup>以上では、減容化による処理費用総額の低減効果は、処理容積が多い程顕著となる。例えば、10,000 m<sup>3</sup>(570 トン)では、減容化せずに直接埋設処理すると約 3.8 億円になるが、減容化して熔融無害化処理すると約 9,600 万円で済む。同様に 10 万 m<sup>3</sup>(5,700 トン)では減容化せずに直接埋設処理すると約 38 億円、減容化して熔融無害化処理すると約 9.6 億円となる。

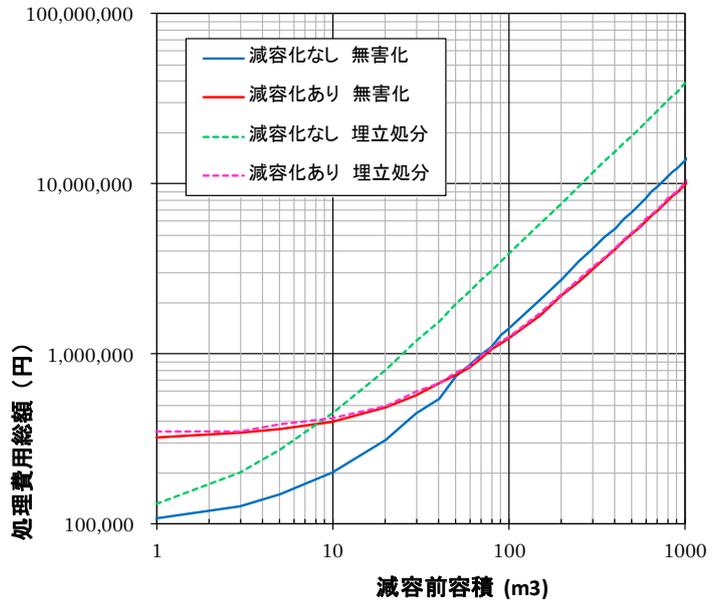


図-6.1.2 減容前容積を基準とした減容化有無の処理費総額の比較結果 (1,000 m<sup>3</sup>まで)

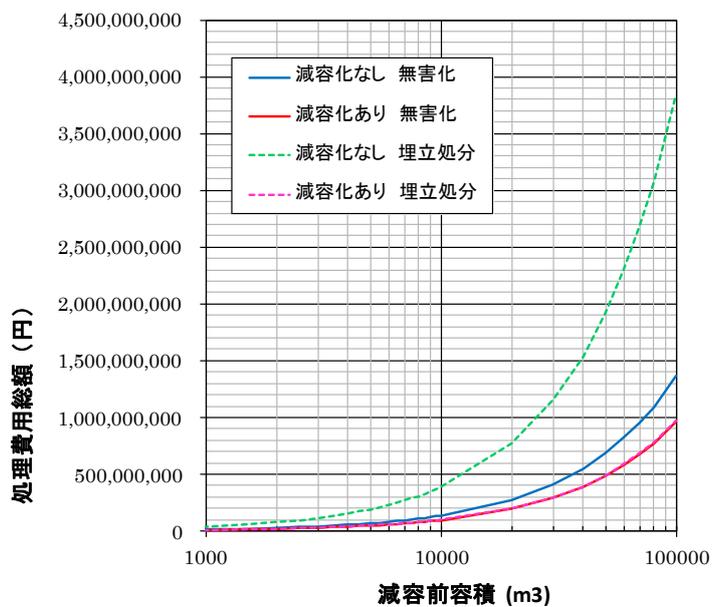


図-6.1.3 減容前容積を基準とした減容化有無の処理費総額の比較結果 (100,000 m<sup>3</sup>まで)

表-6.1.3減容化しない場合の処理容積を基準として算定した減容化の効果計算結果

減容化前の条件 2トナ重機(C) 重量(t)	圧縮減容 体数(体)	減容化しない場合の運搬費		減容化した場合の運搬費		無害化処理費用		埋立処分費用		無害化処理費用総額		埋立費用総額	
		車種1 台数	車種2 台数	車種1 台数	車種2 台数	総額(円)	運搬費(円)	減容化なし(円)	減容化あり(円)	減容化なし(円)	減容化あり(円)	減容化なし(円)	減容化あり(円)
1	0.1	1	3	2t		97,142	219,142	10,260	8,550	107,402	35,000	132,142	351,284
3	0.2	1	9	2t		97,142	219,142	30,780	25,650	127,922	35,000	341,934	202,142
5	0.3	2	15	2t long箱		97,142	219,142	51,300	42,750	148,442	70,000	359,034	386,284
10	0.6	3	29	2t long箱		97,142	219,142	85,500	71,000	199,742	105,000	401,784	421,284
20	1.1	5	57	4t箱		105,840	219,142	205,200	171,000	311,040	175,000	487,284	805,840
30	1.7	8	86	15t		136,400	219,142	307,800	256,500	444,200	280,000	572,784	956,284
40	2.3	10	114	15tウイング		136,400	219,142	307,800	342,000	444,200	350,000	674,982	1,186,400
50	2.9	13	143	15tウイング	1 2t long	105,840	219,142	410,400	427,500	746,542	455,000	1,068,542	1,584,982
60	3.4	15	171	15tウイング	1 4t箱	105,840	219,142	615,600	513,000	857,840	525,000	1,382,840	2,000,982
70	4.0	18	200	15tウイング	2 4t箱	105,840	241,142	818,200	598,500	1,116,742	630,000	1,746,742	2,500,982
80	4.6	20	228	15tウイング	1 12t	136,400	241,142	820,800	684,000	1,061,542	700,000	1,761,542	2,500,982
90	5.1	23	257	15tウイング	2 2t long	136,400	241,142	923,400	769,500	1,293,342	805,000	1,474,342	2,099,342
100	5.7	25	285	15tウイング	1 14t箱	136,400	241,142	1,026,000	855,000	1,404,640	875,000	1,529,640	2,304,640
150	8.6	38	428	15tウイング	1 4	136,400	263,142	1,539,000	1,282,500	2,084,640	1,330,000	2,814,640	3,544,640
200	11.4	50	570	15tウイング	5	233,542	263,142	2,052,000	1,710,000	2,762,000	1,750,000	4,512,000	6,262,000
250	14.3	63	713	15tウイング	6 2t long	242,240	285,142	2,565,000	2,137,500	3,480,542	2,205,000	5,685,542	7,890,542
300	17.1	75	855	15tウイング	7 4t箱	272,800	307,142	3,078,000	2,565,000	4,138,640	2,625,000	6,763,640	9,388,640
350	20.0	88	998	15tウイング	9	272,800	329,142	3,591,000	2,992,500	4,818,600	3,080,000	7,908,600	10,998,600
400	22.8	100	1,140	15tウイング	10	389,942	329,142	4,104,000	3,420,000	5,468,000	3,500,000	8,968,000	12,468,000
450	25.7	113	1,283	15tウイング	11 2t long	409,200	351,142	4,617,000	3,847,500	6,214,542	3,955,000	10,169,542	14,119,542
500	28.5	125	1,425	15tウイング	12 4t箱	409,200	373,142	5,130,000	4,275,000	6,872,640	4,375,000	11,247,640	15,517,640
550	31.4	138	1,568	15tウイング	14	409,200	395,142	5,643,000	4,702,500	7,552,600	4,830,000	12,382,600	17,162,600
600	34.2	150	1,710	15tウイング	15	506,342	395,142	6,156,000	5,130,000	8,202,000	5,250,000	13,452,000	18,712,000
650	37.1	163	1,853	15tウイング	16 2t long	545,600	417,142	6,669,000	5,557,500	8,948,542	5,705,000	14,653,542	20,363,542
700	39.9	175	1,995	15tウイング	17 4t箱	545,600	439,142	7,182,000	5,985,500	9,669,742	6,125,000	15,794,742	21,913,742
750	42.8	188	2,138	15tウイング	19	545,600	461,142	7,695,000	6,412,500	10,286,600	6,500,000	16,786,600	23,286,600
800	45.6	200	2,280	15tウイング	4 4t箱	651,440	461,142	8,208,000	6,840,000	10,936,000	7,000,000	17,936,000	25,236,000
850	48.5	213	2,423	15tウイング	21 2t long	682,000	483,142	8,721,000	7,267,500	11,682,542	7,455,000	19,137,542	26,587,542
900	51.3	225	2,565	15tウイング	22 4t箱	682,000	505,142	9,234,000	7,695,000	12,340,640	7,875,000	20,215,640	28,085,640
950	54.2	237	2,708	15tウイング	24	787,840	527,142	9,747,000	8,122,500	13,020,600	8,295,000	21,315,600	29,610,600
1000	57.0	250	2,850	15tウイング	5 4t箱	787,840	549,142	10,260,000	8,550,000	13,670,000	8,750,000	22,420,000	30,670,000
1500	85.5	375	4,275	15tウイング	37 4t箱	1,091,200	703,142	15,390,000	12,825,000	20,542,640	13,125,000	33,667,640	46,782,640
2000	114.0	499	5,700	15tウイング	62 4t箱	1,500,400	857,142	20,520,000	17,100,000	27,340,000	17,465,000	44,805,000	62,265,000
2500	142.5	624	7,125	15tウイング	111 4t箱	1,879,040	1,033,142	25,650,000	21,375,000	34,212,640	21,840,000	56,052,640	78,892,640
3000	171.0	749	8,550	15tウイング	16 4t箱	2,182,400	1,187,142	30,780,000	25,650,000	41,010,000	26,215,000	67,225,000	93,440,000
3500	199.5	873	9,975	15tウイング	19 4t箱	2,961,600	1,341,142	35,910,000	29,925,000	47,882,640	30,555,000	78,437,640	107,972,640
4000	228.0	998	11,400	15tウイング	21 2t	2,961,542	1,517,142	41,040,000	34,200,000	54,680,000	34,930,000	89,610,000	124,540,000
4500	256.5	1,123	12,825	15tウイング	24 4t箱	3,273,600	1,671,142	46,170,000	38,475,000	61,556,000	39,305,000	100,861,000	140,166,000
5000	285.0	1,247	14,250	15tウイング	27 4t箱	3,682,800	1,847,142	51,300,000	42,750,000	68,350,000	43,419,742	111,769,742	155,389,742
5500	313.5	1,372	15,675	15tウイング	29 2t	4,052,742	2,001,142	56,430,000	47,025,000	75,226,000	48,020,000	123,246,000	171,572,000
6000	342.0	1,497	17,100	15tウイング	32 4t箱	4,364,800	2,177,142	61,560,000	51,300,000	82,020,000	52,395,000	134,415,000	186,805,000
6500	370.5	1,621	18,525	15tウイング	34 4t箱	4,743,440	2,331,142	66,690,000	55,575,000	88,896,000	56,735,000	145,631,000	202,366,000
7000	399.0	1,746	19,950	15tウイング	37 4t箱	5,046,800	2,485,142	71,820,000	59,850,000	95,690,000	61,110,000	156,800,000	218,910,000
7500	427.5	1,871	21,375	15tウイング	40 4t箱	5,456,000	2,661,142	76,950,000	64,125,000	102,582,640	65,485,000	168,067,640	236,642,640
8000	456.0	1,995	22,800	15tウイング	42 4t箱	5,834,640	2,815,142	82,080,000	68,400,000	109,380,000	69,825,000	179,205,000	255,930,000
8500	484.5	2,120	24,225	15tウイング	45 4t箱	6,138,000	2,991,142	87,210,000	72,675,000	116,232,640	74,200,000	190,432,640	275,662,640
9000	513.0	2,245	25,650	15tウイング	48 4t箱	6,547,200	3,145,142	92,340,000	76,950,000	123,300,000	78,575,000	201,875,000	296,647,000
9500	541.5	2,370	27,075	15tウイング	50 2tlong	6,917,142	3,321,142	97,470,000	81,225,000	129,902,640	82,950,000	211,852,640	317,627,000
10000	570.0	2,494	28,500	15tウイング	53 4t箱	7,229,200	3,475,142	102,600,000	85,500,000	136,704,342	87,200,000	223,904,342	340,536,342
20000	1140.0	4988	57000	15tウイング	108 4t箱	14,488,400	6,731,142	205,200,000	171,000,000	273,400,000	174,580,000	447,980,000	622,466,000
30000	1710.0	7482	85500	15tウイング	158 4t箱	21,657,040	10,009,142	307,800,000	256,500,000	410,000,000	261,870,000	671,870,000	933,336,000
40000	2280.0	9975	114000	15tウイング	211 2tlong	28,771,542	13,265,142	410,400,000	342,000,000	546,000,000	349,125,000	895,125,000	1,244,660,000
50000	2850.0	12469	142500	15tウイング	264 4t箱	36,009,600	16,543,142	513,000,000	427,500,000	683,500,000	436,415,000	1,120,000,000	1,566,977,000
60000	3420.0	14963	171000	15tウイング	317 4t箱	43,238,800	19,799,142	616,600,000	513,000,000	820,000,000	523,700,000	1,343,700,000	1,866,442,000
70000	3990.0	17457	199500	15tウイング	370 4t箱	50,468,000	23,077,142	718,200,000	598,500,000	956,000,000	610,995,000	1,566,995,000	2,186,995,000
80000	4560.0	19950	228000	15tウイング	422 4t箱	57,666,640	26,333,142	820,800,000	684,000,000	1,093,600,000	698,250,000	1,791,850,000	2,496,995,000
90000	5130.0	22444	256500	15tウイング	475 4t箱	64,790,000	29,589,142	923,400,000	769,500,000	1,230,300,000	785,540,000	1,915,840,000	2,696,995,000
100000	5700.0	24938	285000	15tウイング	528 4t箱	72,019,200	32,867,142	1,028,000,000	855,000,000	1,367,000,000	872,830,000	2,239,830,000	3,096,995,000

## 6-2. CO2 削減効果

表-6.2.1 に石綿含有廃棄物の処分に際して、首都圏～山形(片道 460km)間を運搬するとした場合の CO2 排出量を、減容化した場合としない場合を比較して示す。減容化前の容積(重量)を基準として比較すると、運搬容積 10 m<sup>3</sup>では、減容化の有無によらず同一車両使用となり減容化効果は得られない。一方、運搬容積 100 m<sup>3</sup>では、2,086-802=1,284(Kg-CO<sub>2</sub>)と約 62%の削減効果、1,000 m<sup>3</sup>以上では、約 78%の削減効果が得られ、10 万 m<sup>3</sup>(5700 ト、想定した熔融無害化処理施設の年間最大処理量相当)では、車両台数で 15twing 車約 2,000 台分の削減効果が得られる。

石綿含有保温材の国内出荷量は、約 100 万ト(NEDO 資料、含有量 1%想定)とされている。石綿含有保温材の処理が進んでいないことと、処分基準が含有量 0.1%とされたことを考慮して、100 万ト(1,755 万 m<sup>3</sup>)を首都圏～山形間で運搬したと仮定すると、15twing 車約 34.6 万台分(27,770 万 Kg-CO<sub>2</sub>)、を削減できる計算になる。

表-6.2.1 石綿含有廃棄物の運搬における減容化による CO2 削減効果の算定結果

運搬条件(減容化前)		減容化なし		減容化あり		減容化効果
容積(m <sup>3</sup> )	重量(ト)	運搬車両	CO2 排出量 (Kg-CO <sub>2</sub> )	運搬車両	CO2 排出量 (Kg-CO <sub>2</sub> )	
10	0.57	2tlong 箱車 × 1	343	2t 車 × 1	343	—
100	5.7	15twing × 2 + 4t 箱 × 1	2,086	15twing × 1	802	61.6% 削減
1,000	57	15twing × 25	20,050	15twing × 5 + 4t 箱 × 1	4,492	77.6% 削減
1 万	570	15twing × 250	200,500	15twing × 53	42,506	78.8% 削減
10 万	5,700	15twing × 2,500	2,005,000	15twing × 528	423,938	78.9% 削減
100 万	57,000	15twing × 25,000	20,050,000	15twing × 5278	4,233,260	78.9% 削減
1,000 万	570,000	15twing × 250,000	2.01 × 10 <sup>8</sup>	15twing × 52,778	4.23 × 10 <sup>7</sup>	79.0% 削減
1,755 万	1,000,000	15twing × 438,750	3.52 × 10 <sup>8</sup>	15twing × 92,625	7.43 × 10 <sup>7</sup>	78.9% 削減

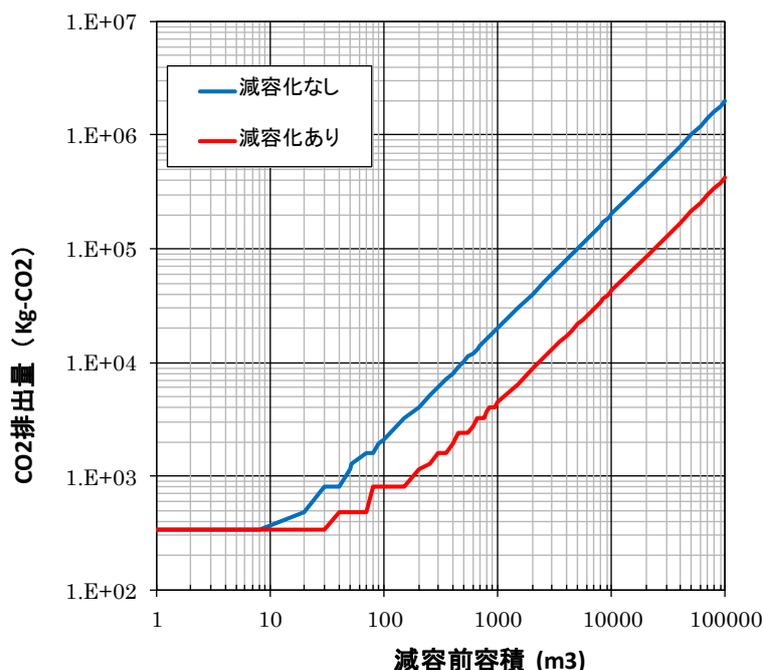


図-6.2.1 減容前容積を基準とした減容化有無の CO2 排出量比較

## 7. 今後の展開

現行法制度では、石綿含有廃棄物の中間処理は認められていないため、減容化装置を用いて石綿含有保温材等を減容化できるのは、解体除去工事現場の負圧管理区域内に限られる。前述のように、減容化による処理費用総額のコストダウン効果が期待されるのは、100 m<sup>3</sup>以上の処理量がある場合であることから、排出量の多いプラント関係の事業者を想定した利用展開を想定している。

例えば、減容化後の熔融無害化処理で利用を予定する最上クリーンセンター(山形県最上町)の処理施設は、環境省無害化処理認定制度による設置許可を得ることを前提としている。その際、当該事業者は、石綿含有廃棄物の全国からの収集運搬許可も付与される。これは、国が認可した施設に対して、処理廃棄物の収集を容易にすることで、施設の稼働を円滑にさせることを意図したものと推察される。そこで、減容化装置の貸与、装置及び石綿含有保温材廃棄物の収集運搬および熔融無害化処理をセットした価格設定により、石綿含有保温材等の大量排出予定事業者の処理コストおよびCO<sub>2</sub>削減に寄与する処理スキームを提案していきたい。

次に、国内出荷量相当 100 万トンの石綿含有保温材を 5 年、10 年、20 年で処理すると仮定して、効果的な減容化装置利用を試算した結果を表-7.1 に示す。この試算は、石綿含有保温材廃棄物の減容化専用中間処理施設を排出事業所近傍に設置して、昼夜稼働で減容化を行うことを前提としている。減容化装置 1 台の処理能力を 3,168 トン/年(2.5 交代勤務(20h/日)で年間 330 日(6 日/週×55 週)稼働)として、必要機械台数を設定している。100 万トンの減容化に必要な処理費用(運搬賃を除く)は、5 年で約 132.8 億円、10 年で 127.3 億円、20 年で 124.1 億円と算定され、トン当たりでみると、12 千円～13 千円前後の減容化処理費用となる。

前述したように、解体除去工事で減容化装置を利用した場合、100 m<sup>3</sup>以下では減容化の効果が得られない。10 m<sup>3</sup>の場合では、減容化に 21.9 万円、運搬に 9.7 万円ですべて 31.6 万円と試算される。これは減容化しないで運搬した場合の 9.7 万円を大幅に上回る。一方、解体除去工事現場では通常の 2 重ビニール袋詰梱包して専用中間処理施設に運び、減容化後に熔融無害化施設に運搬するとした場合、中間処理施設までの運搬賃：6 万円とすれば、減容化費用：8 千円(0.6 トン×1.3 万円/トン)、熔融無害化施設までの運搬費：1.36 万円(15t トラック 1 台 136 千円、10 トンまで積載)とすると、計 81,600 円となり、減容化せずに熔融無害化処理施設へ運搬した場合よりも安価となる。

以上のように減容化専用中間処理施設を設けることで、排出量が少量(100 m<sup>3</sup>未満)のため、解体除去工事での減容化メリットの無い排出事業者もコストダウンメリットを得ることが可能となり、ひいては、小規模な石綿含有保温材等の解体除去工事の促進にも寄与することができる。

表-7.1 石綿含有保温材等を対象とする減容化専用中間処理施設の検討結果

処理期間(年)	年間処理量(トン)	減容化装置台数(台)*1	減容化装置リース費用(万円)*2	減容化装置稼働費用*3(万円/年)	中間処理施設建設費(万円)*4	減容化処理費用	
						総額(万円)	トン当たり(円)
5	200000	64	81,760	236,544	64,000	1,328,480	13,285
10	100000	32	58,400	1,18,272	32,000	1,273,120	12,731
20	50000	16	58,400	59,136	16,000	1,241,120	12,411

\*1：480kg/h×20h/日×330日=3,168トン/年・台を基準に設定

\*2：64台×0.7万円/台・日×365日/年×5年=81,760万円、32台×0.5万円/台・日×365日/年×10年=58,400万円、16台×0.5万円/台・日×365日/年×20年=58,400万円

\*3：電気料金：1.2万円/台・日×330日、人件費：10万円/台・日×330日、経費率：100%で試算

## 8. まとめ

### 8-1. 自己評価

目標成果に対する達成度の自己評価を以下に示す。

- 1) 工事規模スペースに応じた減容化技術の開発。
  - ・ 小規模な解体除去工事の場合、袋詰の工夫等による減容化効果は補助器具を利用しても約40%の容積減少程度であり、運搬車両台数の削減に寄与するだけの効果は期待できない。
- 2) 袋詰補助器具の開発。
  - ・ 補助器具利用の減容化効果は約40%、配管保温材片の向きを揃えることは可能であるが、詰込み作業に手間を要する。また開発した減容化装置の処理能力が高く、事前に袋詰補助器具を利用して配管保温材片の向きを揃える必要はなかった。
- 3) 減容化装置の開発。
  - ・ 処理能力：1m<sup>3</sup>/h(50～80kg/h)の目標に対して、二重ビニル袋詰された配管保温材4袋を一度に減容可能であり、240～480kg/hの処理能力を確保した。
  - ・ 三相200V動力、自走台車での運搬と工業用エレベータ搭載の目標に対して、三相200V動力でキャスターでの人力移動可能かつエレベータ搭載とクレーン等での吊込み作業も可能な、重量及び形状とした。
- 4) 化石燃料使用量の削減。
  - ・ 車載効率を4～5倍とでき、運搬車両の化石燃料使用量を大幅に削減可能である。減容化前の容積1,000 m<sup>3</sup>以上では約78%の削減効果を得られる。

### 8-2. 課題

減容化装置は、石綿含有保温材の解体除去工事現場の負圧管理区域内に設置使用することを前提としている。そのため、除去工事後の返却時には、十分な清掃と再飛散防止対策を講じた上で、負圧管理区域から装置を出す必要がある。開発した減容化装置は、吹付石綿除去工事現場において吹付石綿を除去するケレン作業相当の作業により、減容室やブレッシャー前面に付着した粉じんを除去し、減容化装置各部を飛散防止材で拭き取ることで、万一の石綿繊維の再飛散を防止して負圧管理区域を解除した。そのため、装置の清掃に1人工以上を要している。この作業は、減容化装置の利用が1日であっても必要となる。

より小規模な解体除去工事でも減容化装置の利用がコスト的にも見合うようにするためには、減容化装置の清掃対応をより簡便な作業で可能とする工夫が望まれる。