

# 原位置ガラス固化 (ISV: In-Situ Vitrification) 技術について

(株)日本総合研究所

三 谷 一 石

(株)アイエスブイ・ジャパン

村 岡 元 司

## In-Situ Vitrification Technology

**Kazuishi Mitani**

*The Japan Research Institute, Limited Senior Producer,  
Industry Incubation Center Corporate Strategy Department*

**Motoshi Muraoka**

*ISV Japan, Limited Manager Marketing*

### 1. 土壤環境の保全とガラス固化 (緒言にかえて)

原位置ガラス固化技術(以下、ISV技術と記す)は、文字どおり、対象とする物質をそのままの位置(原位置)でガラス状に熔融固化する技術である。放射性物質や重金属、さらには有害な有機物質に汚染された土壤を浄化するために米国で開発された技術である。

日本国内では全く馴染みがないが、米国では核開発に関連してウランやプルトニウムなどの放射性物質に汚染された土壤が幾つか存在している。これらの汚染土壤は放射性物質に加えて有機溶剤等の有害な有機物質や鉛等の重金属も含有していることが多く、一般に複合汚染土壤と呼ばれている。ISV技術はこうした複合汚染土壤でさえ浄化できる画期的な技術として実用化が進んでいる。

こうした複合汚染土壤を浄化する場合に、汚

染土壤の掘削作業を伴う対策を実施すると、掘削することによる汚染物質の飛散、周囲への拡散、作業員への被曝が懸念される。また、汚染物質が複数にわたるため、単一技術による処理が難しく幾つかの技術を組み合わせて処理することが必要となる場合が少なくない。こうした組み合わせ処理を行うと、対策のためのトータルコストが高騰するため、費用の低減が大きな課題となっている。

ISV技術は放射性物質、有機物質、さらには重金属まで併せて一括処理できる技術であり、複合汚染の処理に適した技術である。また、掘削等を行わず原位置で処理を実施できる技術であり、作業安全性を著しく高めることができる。もともとは、米国エネルギー省傘下のバテル・パシフィック・ノースウェスト国立研究所が開発した技術で、技術の移管を受けた米国のジオセーフ社が米国での事業を実施している。国内では、ジオセーフ社からライセンスの供与を受けた株式会社アイエスブイ・ジャパンが事業化を推進している。

〒102 千代田区一番町16番  
TEL 03-3288-4700  
〒102 千代田区一番町27番  
TEL 03-5275-2400

いうまでもなく大気汚染や水質汚濁といった公害問題を解決してきたわが国は、大気と水（地下水を除く）の環境保全に関しては世界的に見てもトップレベルにあることは間違いない。しかしながら、土壌については法規制が十分に整備されていないこともあり、汚染土壌や汚染地下水の問題はこれからの課題である。本年、水質汚濁防止法が改正され、地下水保全への第一歩が踏み出されたばかりである。地下水汚染は汚染土壌が源になって生じることが多く、2つの汚染は不可分な関係にあり地質汚染と呼ばれることも多い。ISV技術はこの地質汚染のうち汚染源の浄化に力を発揮する技術である。また、もともとは汚染土壌の浄化のために開発された技術であるが、炉壁を持たない熔融炉として、処理が困難な廃棄物の処理技術としての応用も期待されている。

## 2. ISV 固化技術の概要

ISV技術の原理を図1に示す。まず土壌中に4本のグラファイト電極を浅く挿入する。未熔融の土壌は導電性を示さないため、挿入した電極間に初期導電性抵抗路を設置する。初期導

電性抵抗路の材料にはグラファイトとガラスフリットの混合粉が用いられる。抵抗路への通電によりジュール熱が発生し、抵抗路及びその隣接土壌の熔融が始まる。一旦熔融が始まった後は、通電を継続するだけで順次熔融領域を周辺に拡大することができる。

熔融の進行に伴い電極は自重で下降し、深さ方向の熔融領域が拡大する。熔融部の中心温度は通常1600℃～2000℃にまで上昇する。一方、熔融領域周辺部の温度は1200℃程度であり、熔融領域からおよそ30cm離れた地点では土壌温度は100℃以下に低下するため、熔融に伴う周辺への熱的な影響はほとんど起こらないことが確認されている。

一般に天然土壌は大量のケイ素を含有するため、熔融土壌を冷却すると黒曜石に類似した極めて安定なガラス固化体を得ることができる。土壌中は酸素濃度が低いため、有害な有機物質は低い酸素濃度下で高温熱分解され、揮発性の高い重金属を除いてほとんどの重金属はガラス固化体中に閉じ込められる。こうして有機物質と重金属からなる複合物質も無害化することができる。

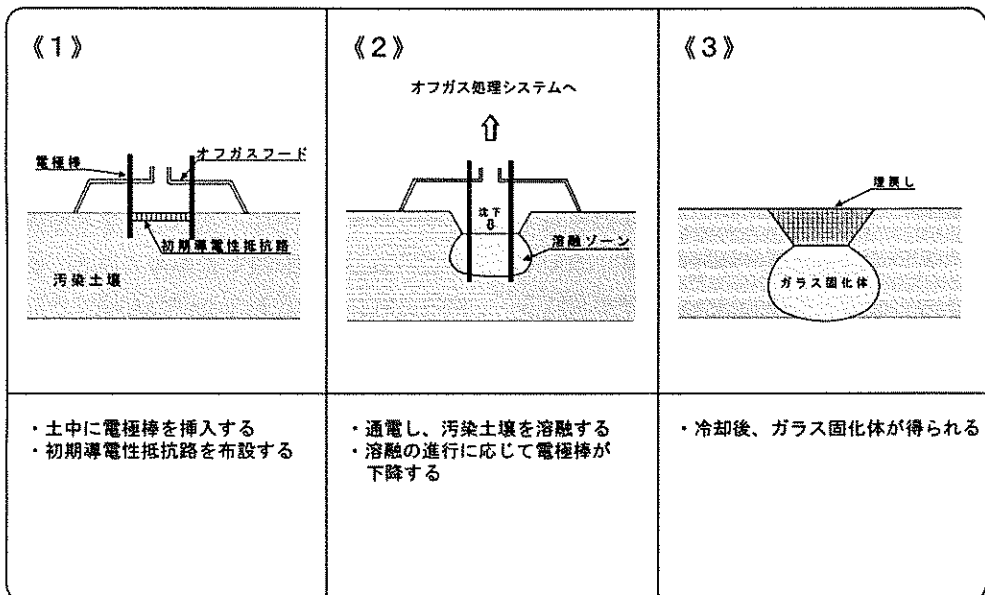


Fig.1 In Situ Vitrification Process

ISV技術はSiO<sub>2</sub>などのガラス形成成分を含む土壌であれば、そのほとんどを熔融固化することができる。固化の難易性は対象とする物質の融点や電気伝導度により影響を受け、熔融が難しい場合には副成分の添加によりその熔融を促進することもできる。目安としては対象物質中にSiO<sub>2</sub>及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>といった成分が60wt%以上含有されており、電気伝導をつかさどるNaやKなどのアルカリ金属が2wt%以上含有されていれば、原則的には熔融固化を実施できると考えられる。その他、対象物質中にコンクリートや金属といった埋設物がある場合にもこれらを一緒に熔融固化することができ、過去の実績も踏まえた標準的な適用範囲は次のとおりである。

- 1) 金属：40wt%以下。1個の長さが電極間隔の90%以下
- 2) 瓦れき：含有率が20wt%以下
- 3) 可燃性物質：10wt%以下

固化対象中に大量の空隙が存在したり、地下タンクが敷設されている場合などは、あらかじめ空隙に土壌を充填した後に通常のISVプロセスを適用することができる。

またISV技術は水分を大量に含有する対象物質にも適用可能であるが、水分除去のために余分の電力を消費することになる。従って、固化

対象とする物質が帯水層中に存在し、土壌の透水係数が大きい場合には、経済性の観点からあらかじめ止水壁等を設置するなど、周辺からの地下水の流入を防止する措置が必要となる。標準的には、対象物質周辺の透水係数が10<sup>-4</sup> cm/sec以下の場合にはこうした措置は必要ない。

### 3. ISV処理システムの概要

ISV処理システムは図2、に示すとおり、大きく電力供給システム、熔融システム、オフガス処理システムの三つのサブシステムから構成される。電力供給システムとしては、周辺環境や経済性を考慮して、商用電源からの引き込み方式とディーゼル発電機などを用いた個別電源方式のいずれかを選択することができる。いずれの場合も、3相の交流電源が2組の単相電力に変換され、オフガスフード上部に設置された電極に供給される。電極に供給された電力は熔融システムの主な設備である電力制御装置によりコントロールされる。熔融に伴い発生するオフガスは、大気圧に対して負圧に保たれたオフガスフードを通じてオフガス処理システムに導かれ、冷却された後、ベンチュリスクラバーで除塵され、水分を除去された後、HEPAフィルタ及び活性炭フィルタで処理され大気中へ放出される。オフガス処理システムは、簡易

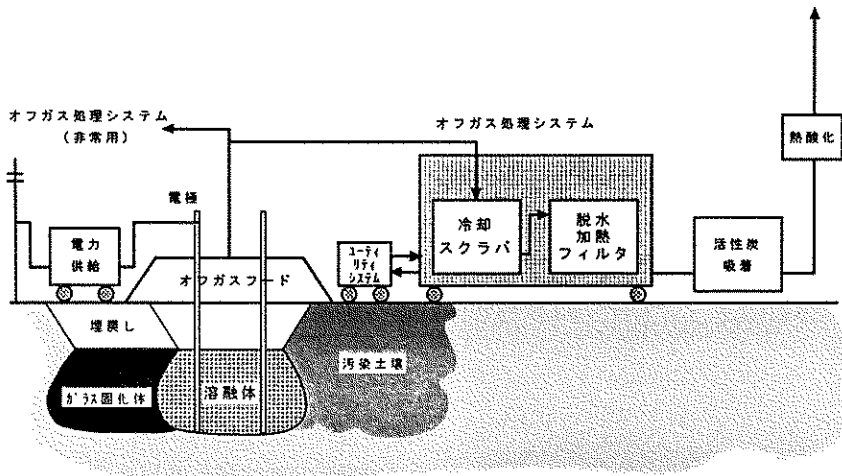


Fig. 2 ISV Treatment System

なシステムから高度なシステムまで、対象物質により適切な組み合わせを考えることができる。臭気対策などより万全を期すために、図2に示した熱酸化装置（二次燃焼装置）を用いる場合もある。

装置規模は、基礎的な適用性評価を行うための小規模装置（1回の熔融固化量：100 kg～1 t）に始まり、中規模装置（1回の熔融固化量：10t～100t）、大規模装置（1回の熔融固化量：100t～1000t）と処理の現場に応じた規模の装置を準備することができる。いずれの装置も可搬型であり、装置はトレーラーに積載され、必要な場所へ移動することができる。

米国で稼働している大規模装置の処理能力の概要はつぎのとおりである。

- 1) 熔融量：最大1,200 t
- 2) 熔融速度：3～6 t/h
- 3) 熔融深さ：1.5～6m
- 4) 熔融温度：1,600～2,000℃
- 5) 装置出力：平均3.2MW、最大4.0MW
- 6) 電力消費量：0.7～1.0kWh/kg

国内では小規模装置及び中規模装置が稼働しており、環境庁や通産省の支援による実証研究をはじめとして、種々の試験が実施されている。

ISV技術を適用した後に得られるガラス固化体の一例を写真1に示す。得られる固化体の密度は高く非常に稠密な固化体となるため、1回の熔融固化で土壌の場合25%～50%程度の減容効果を得ることができる。従って、適用後の



Photo 1 Example of Vitrified Block



Photo 2 Depression Due to Volume Reduction (about 10m Diameter)



Photo 3 Appearance of Vitrified Block

地表面は写真2に示したような大きな陥没状態を示す。

また得られる固化体の形状は、土壌を対象とした場合、写真3に示すような「釣鐘状」になることが多い。この固化体の材料特性は、圧縮強度が2400～3200kg/cm<sup>2</sup>、引っ張り強度が300～600kg/cm<sup>2</sup>であり、通常のコンクリートの約10倍の強度を有している。

得られた固化体は土壌中にその状態のまま放置することも、回収・除去を行うこともできる。米国では放置する例が多いが、わが国では得られる固化体の特長を生かして、これを積極的にリサイクル利用することが望まれる。

#### 4. 広がる適用可能性

米国では既に商業的にISV処理が実施されており、水銀、ヒ素、鉛、カドミウム、クロム、

プルトニウムなどの重金属に汚染された土壌への適用実績がある。中でもヒ素による汚染土壌への適用結果は、得られるガラス固化体の高い閉じ込め性能から特に注目されている。また、有機物質への適用実績としては、殺虫剤や除草剤などの農薬、トルエンやトリクロロエタンなどの揮発性溶剤に汚染された土壌へ適用された実績がある他、PCBやダイオキシンについても99.9999%という高い除染率が報告されている。1995年、米国環境保護庁（EPA）はPCBによる汚染土壌への適用技術としてISV技術を正式に認定し、本年夏頃には修復事業が実施される計画である。これら米国における汚染物質浄化の実績データを表1、2にまとめる。

わが国では1990年に日本総合研究所の呼びかけで設立された「原位置ガラス固化コンソーシ

ウム」（民間企業よりなる共同研究開発組織）を中心にISV技術の実用化が進められ、1995年5月にはコンソーシウムを母体に株式会社アイエスブイ・ジャパン（宇部興産株式会社、株式会社鴻池組、株式会社日本総合研究所、株式会社間組、三菱商事株式会社、ジオセーフ社の6社を株主とする合弁会社であり、以下、ISVJと記す。）が設立され事業化が進められている。こうした活動を通じて、既に表3に示すようなISV技術の適用性実証試験や安全性実証試験を実施している。

さらに、最近では汚染土壌の修復だけでなく、処理が困難な廃棄物や有害廃棄物の無害化・安定化処理技術としての適用に期待が持たれている。これはISV技術が次に示す4つの特長を有しているためであると考えられる。

Table 1 Typical Inorganic Removal / Retention Results

汚染物質	初期濃度 (ppm)	分解率†(%)	除去率††(%)	総除染率 (%)
揮発性物質	*****	*****	*****	*****
Hg	5,369	0	97~>99	>97
半揮発性物質	*****	*****	*****	*****
As	43,900	70~85	>99.9	99.98
Cd	37	67~75	>99.9	99.96
Co	17	99~99.9	>99	99.99
Cs	-	99~99.9	>99	99.99
Pb	1,550	90~99	>99.9	99.99
不揮発性物質	*****	*****	*****	*****
Ba	185	99.9	>99.98	99.9999
Cr	290	99.9	>99.9	99.9999
Cu	65,000	90~99	>99.9	99.99
Ni	47	99.9	>99.9	99.9999
<sup>226</sup> Ra	6,000pCi/g	99.9	>99.9	99.9999
Pu/Th/U	-	99.99	>99.9	99.99999
Zn	14,200	90~99	>99.9	99.99

† : ガラス固化体への保持率, †† : オフガス処理装置による除去率

Table 2 Typical Organic Destruction / Removal Efficiencies

汚染物質	初期濃度 (ppm)	分解率 (%)	除去率†(%)	総除染率 (%)
殺虫剤	*****	*****	*****	*****
4,4 DDD/DDE/DDT	21~240,000	99.9~99.99	>99.9	99.9999
Aldrin	113	>97	>99.9	99.99
Chlordane	535,000	99.95	>99.9	99.9999
Dieldrin	24,000	98~99.9	>99.9	99.99
Heptachlor	61	98.7	>99.9	99.99
揮発性物質	*****	*****	*****	*****
Fuel oil	230~110,000	>99	>99.9	99.999
MEK	6,000	>99	>99.9	99.999
Toluene	203,000	99.996	>99.9	99.99999
Trichloroethane	106,000	99.995	>99.9	99.99999
Xylenes	3,533,000	99.998	>99.9	99.99999
半揮発性物質	*****	*****	*****	*****
PCP	>4,000,000	99.995	>99.9	99.99999
不揮発性物質	*****	*****	*****	*****
Glycol	8,000	>98	>99.9	99.99
PCBs	19,400,000	99.9~99.99	>99.9	99.9999
Dioxins	>47,000	99.9~99.99	>99.9	99.9999
Furans	>9,400	99.9~99.99	>99.9	99.9999

† : 分解後オフガス処理装置による除去率

Table 3 Typical ISV Experience in Japan

実施年	規 模	対象物質	備考
1992	エンジニアリングスケール 100kg	土壌	通産省補助事業
1993	エンジニアリングスケール 1ton	土壌	通産省補助事業
1994	エンジニアリングスケール 100kg	土壌（重金属含有）	環境庁委託事業
1994	エンジニアリングスケール 100kg	焼却灰	適用性実証試験
1994	パイロットスケール 10ton	石炭灰	通産省補助事業
1995	パイロットスケール 50ton	石炭灰（重金属含有）	通産省補助事業
1996	エンジニアリングスケール 1ton	農薬混合土壌	環境庁委託事業

- 1) 溶融固化の原理がシンプルであり、幅広い対象物質を溶融固化できること
- 2) 高い無害化率（除染率）が期待できること
- 3) 炉壁を持たない溶融炉であり装置費用を低く押さえられること
- 4) コンパクトな装置で比較的大きな固化体を得ることができ、建材利用などのリサイクルの可能性が高まること

## 5. おわりに

以上のように、ISV技術は汚染土壌の修復技術として開発され、現在は廃棄物処理技術としての適用可能性も高まっている技術である。現

在、米国で稼働している大規模装置では1回の溶融固化で1000tを越える大きさのガラス固化体を作ることができる。しかも得られる固化体は安定性が極めて高く、土壌を対象にした場合には、天然の黒曜石に類似した大きな固化体を作り出すことができる。このように安全で大きな固化体を製造できるという特長を生かし、建材利用など、本技術により溶融固化されたガラス固化体の有効なリサイクル用途を開発することが、我々の課題の一つである。読者の皆様の斬新なアイデアをアドバイスいただければ幸いです。