

## アイベイ・インターナショナル

アイベイ・インターナショナル会社は、空気、土壌及び地下水の改善の為の修復技術に特化した会社である。我々のこだわりは、革新的な技術の発展と適用を通じて顕著なサービスを提供することである。

選択層浸透（SPTT）技術は、特許の非イオン界面活性剤の使用によるNAPL及びMTBEの修復を促進する。

### 抜 粋

選択層浸透技術（SPTT）は4種の混合と2つのプロセス（in-situ 地中処理 ex-situ 地上処理）を油汚染層に用いる事で、微細油分を包摂させるものである。NAPL石油類分子は、層を透して下方へ浸透する。

分子レベルで微細カプセル化された石油は、水中に溶解するようになる。（すなわち、より微細で、流動性のある物質になる）NAPLの混合物の複雑性は、LNAPL混合物（すなわち、軟質ガソリン、中質ディーゼル、及び重質、C重油とMTBE）の特殊範囲に対する選択的応用の為の数種のSPTTの発展に帰結される。

DNAPL混合物（すなわち、PCE、TCE、TCA、フタレート、PCB、石炭及び中間タール域 Pesticide）。

SPT分子は、高度なバイオ分解性を持つ。27日以内に97%分解。それらはNAPL化学構造に変換されないし、環境的に残留しない。

SPTT混合液と石油混合物との地下での接触は、噴射井戸と噴射構造によって達成される。この結果、選択的微細カプセルを通じ、土壌と地下水から抽出された浮遊石油の浸透となる。抽出井戸は、水と石油の混和した中に溶解。

更に気相放射をして放出させるのではなく、石油の容量を減少させる。ケーススタディは、プロジェクトのゴールとして18ヶ月以内にサイトの95%除去を達成しており、もっと小さいサイトでは、12ヶ月以内に典型的に達成されている。

ex-situ（地上処理）方式は、土壌処理の修正された coll-off 脱水単位（30～35 m<sup>3</sup>）に用いられる。汚染土壌は、処理ユニット中に入れ、SPTT水で部分的に侵される。

SPTT水相は、土壌ベット内を急速に処理する為に4時間で順回する。

ケーススタディは、これは可搬式で計測出来、経済的な土壌処理方法である。

混合液とプロセスに対し、2件の特許が2001/Nov、2002/Mayに認可されている。

|          |      |     |    |     |        |
|----------|------|-----|----|-----|--------|
| Ivey,G.A | 空気土壌 | 地下水 | 修復 | 混合物 | (1998) |
| Ivey,G.A |      | ”   |    | 方法  | (2001) |

## 1 INTRODUCTION

最近のサイト修復技術とアプローチは、地下過酸化水素吹込みバイオリメディエーション、従来型のポンプと処理、土壌掘削蒸気抽出、気泡浮上、混合物の脱酸素、自然希釈、リスファージメントを用いる事を含んでいる。しかし、これらの技術は汚染サイトに応用されるには、多くのサイトの特殊条件（i、e、pH、塩度、硬度、温度、地質、etc.）によって、最適の方法がなければならない。そして、多くは、汚染の限定された修復方式でのみ有効に作用することが出来、しばしば満足な結果を得るには長期、高コストである。

SPTTは容易に、早く、地下法、地上法のいずれでも結果を得られる。広い範囲のLNAPLとDNAPL 's 汚染に作用し、コストは多くの他の方式に比し、著しく安い。

この文章の目標は、三つの折り目がある。最初に読者に紹介するのは、非イオン界面活性剤（SAA）の分野であり、2番目は軽質又は濃厚な不溶性液相（LNAPLとDNAPL）の空気土壌の地下水汚染修復システムに対する応用であり、3番目は、SPTTとIvey-solと名付けられた新しい特許修復技術の紹介である。

要約すれば、SPTTは石油製品をマイクロカプセル化する事で水に可溶性で流動的な物質にする事を改善した。

分子レベルの石油の微細カプセル体は非常に小さい流動ユニット（1-1 図）として水中に溶解して層中を下方浸透する。

一度溶解すると、汚染システム中から、より容易に分離できる特許のSPTTは詳細に検討される。これは研究室及びフィールドでのコマーシャル範囲、ケーススタディの効果を含む。



化学性能と応用分野の広い範囲に対応している。

S P T T mixture は、LNAPL, DNAPL, 循環型芳香炭水化物、(PAH類)、トリクロロエタン (TCE)、パークロロエチレン (PCE) と他の類似石油製品を選択的に可溶化する独特な能力を持っている。

□Amphoteric

アニオンとカチオンの両極を有する両方の特性を持つSAAで、中性域で良く作用し、ヘヤーシャンプー、スキนครીナー、カーペットクリーナーの様な製品に見られる。

### 3.0メカニズム

SAAが液中に溶解または、分散した場合、それらは、一つのインターフェースで優先的に吸着する。この特殊な性能は、目的とする粒子の物理化学的性質に変化を生じさせる。上に示した様にSAA分子は、極性水表面に対して凝集力を持つ親水性グループである。

このグループは、水溶性を保証する。一度非イオンSAAが溶解すると、その親水性グループは、グループと称するなかに存在する酸素原子の一つ以上で水と結合している (図

3-1)。疎水グループは、互いに凝集する。

Surfactant の集合体は、形成される微小体の発生をうながす。この集合体は臨界微細集合体として知られるものである (CMC)。SAA分子は、水表面でそれ自身整列する。

親水性グループは水の外側に向かい、疎水性グループは、内側に絞り込まれる (図3-2)。

この化学的作用は、表面における再引力に起因する。SAAは、濃度の作用で集合し、微小体は、CMCと会えば形成される。

図3-1 親水性SAAと極性水間の作用      図3-2 表面整列と水中溶解

SAAに関して、疎水性 (水を引き付ける) グループ非極性分子表面上で、自己整列する。この事は、石油製品で普通に見られる事である。SAAは、油分子の周りに集合し、極性水層中に非極性油を溶解させる微小体を作る。このメカニズムを通じて土壌から油を持ち上げ取り除き遊離石油製品を水中に溶解させる (図3-3)。

図3-3 表面上のSAAの油との間の作用  
表面で油粒を微小カプセル化する

このメカニズムは、次の様に述べる事が出来る。

- a) 油/石油製品は、土壤粒に吸着している。水のみではそれを剥離できない。これは、油の表面で水を弾く性質と水に不溶の性質に起因する疎水性の作用である。
- b) SAAの添加で、疎水性グループは、水に弾かれ、土壤中の油に吸引される。
- c) これらの相反する力は、土壤表面から油を離脱させ、水中に遊離させる。一旦溶解刷すると、処理した時、遊離油は容易に正常化し、水中から分離除去出来る。

エマルジョンは、遊離油粒とも、水に溶解しているともいう事が出来る。或いは油中に水が懸濁しているとも、両者が混合されているともいえる。それは、要求されるSAAの濃度と、作用範囲を確定するエマルジョンのタイプを決定する選択と、添加順序による。

溶解度は、エマルジョン化に密接に連携している。エマルジョン化された油粒のサイズをより小さくするには、条件として、油粒と微小体が同サイズである事で達成出来る。一度この条件が満たされると、油滴は、その化学的性質とこれを保持する機能で、溶媒に溶解しているという事が出来る。

微小体を確立する為に、SAAのCMCが存在しなければならない。ある種の非イオンSAAに対して、SPTT mixture 中にはこれが存在しているので、油製品は低濃度CMCのSPTT mixture で溶解される。この手順は、SAAに石油製品の周りに集まってその水溶性を著しく増加させるようになる。この独特な性能は、環境から油製品を取り除く事を効果的なコストで短時間で可能にしている。低濃度SPTTでNAPL汚染をエマルジョン化せず除去処理することも出来る。

#### 4, 0 選択的層間移動テクノロジー (SPTT)

選択的層間移動テクノロジーは、1, 0章にアウトラインは紹介されている特許技術である。テクノロジーは、1993~1998の間に開発された。これは、地方大学のフィールドテストを行う研究スタッフと広範囲の協力で行われた。5年間の努力の結果は、2件の特許プロセス (IN-SITUとEX-SITU) と4件の特許溶液を生み出した。SPTT mixture は、高度に特化された非イオン界面活性剤の複合体である。これらの特別な溶液は、環境に関わる広い範囲のINAPLとDNAPL各々の混合物の選択的な溶解を可能にする。結果は、ラボとフィールドテストの両方で、空気、土壤、地下水の汚染除去修復に対して効果的な解決法である事を証明している。この章では、応用の前途、範囲、可能領域の導入に関する情報につき論じたい。

#### 4 - 1 技術の共通項目

或る共通項目は、テクノロジーに関し、下記に列記されている。

これらは、フィールド性能、ラボテスト及び発見、顧客と法規制その他による作業結果のフィードバックを基礎としている。

- 油汚染に対するSPTTの応用は、ポンプ能力と処理段取りを75%アップする
- 汚染地域の90~95%は18ヶ月以内に清浄化される。
- 中小規模の汚染現場の平均浄化期間は、12ヶ月以内である。

- CANADA(州環境局)とUSA(環境保護局)での使用が評価され、承認されている。
- 溶液は高度に生分解性である。(27日以内に97%分解)この為環境残留性がない。
- 一般的に毒性がなく陸上使用・海岸投入の何れも安全である
- 処理サイトから揮発する揮発性有機化合物の減少が観察される。
- 適用による地下水ポンプと処理施設への阻害性はない。
- 他の汚染除去修復技術との組み合わせ使用が可能である。
- 塩分、硬度、pH、汚染タイプ、Red-ox potential, 汚染濃度、に影響されない。
- NAPL 汚染の化学構造を変化させない。環境サイトが求める最適の処理技術として無限の適用範囲を持つ。(即ち、過酸化水素の注入、生分解、脱酸素)等は、目的にする NAPL の化学構造を変化させる。更に、SPTT は NAPL の化学構造が変化した時に発生する望ましくない副生物の発生がない。

炭水化物分析に影響するマトリクス(マスキング)効果は生じない。(即ち、溶剤抽出/GC-FIDページと捕集、GC-MS, GC-FID)

#### 4-2 IN-SITU 適用

テクノロジーの IN-SITU 適用は、空気、土壌、地下水の LNAPL と DNAPL 汚染に適用可能である。一度サイトを調査し、サイトの条件(地下水水質、汚染している部位の輪郭、地質)を知り、SPTT 注入の為の噴射パイプと井戸が、サイト内に適切に設置出来ることを確認する。普通は、碎石の通気性の床に PVC パイプ(100Φ/4インチ)を用いる。

SPTT が注入されると、汚染と効果的に接触し、soil matrix making を通じ、SPTT を駆動するための水頭を作り、プレセットされた容積の水で洗われる。

SPTT に接触すると、汚染はマイクロカプセル化され、soil matrix から遊離し(非飽和域)、地下水層に溶解する。溶解すると、流動化し、サイト中の揚水井戸(処理井戸)で急速に汲み上げて処理される。若し、浮遊物質が地層内に存在する場合、溶解され、揚水井戸付近で処理される。

テクノロジーの特殊な応用として、建築物基礎下の汚染除去がある。基本的に覆い被さった基礎下の汚染除去の殆どの場合、潜在的構造的不備により失敗することが多い。SPTT は、土壌の掘削に替わる有用性が認められた。掘削された基礎床を貫通した噴射井戸を通じて噴射される SPTT は、堀上処理に比して有効であることが証明された。

SPTT 処理の間、地下から蒸散している有機揮発成分は急速に減少している。SPTT は、地下に潜在している揮発ガスの分子と相互作用で、カプセル化し、ガス化能力の根源である蒸気圧を低減させる事により、蒸散を効果的に減少させている。SPTT mixture は、金属、塩度、pH、汚染タイプ、濃度、地質によって阻害されない。効果的に処理される土壌のタイプの範囲は、 $(K = 1 \times 10^{-1} / 1000000 \text{ cm} / \text{sec})$ 迄の浸透性のシルト質土壌を含む。砂と砂礫  $(K = 1 \times 10^{-1} / 1000 \text{ cm} / \text{sec})$ 迄含んでいる。

図4-1 I N-S I T U S P T T 噴射、汚染カプセル、可溶化及びサイト中の修復井戸の移動

#### 4 - 3 責任の輪郭

I N-S I T U処理の間、溶解された汚染濃縮物質はS P T T噴射の範囲で増加する。この責任の条件は、プロジェクトの期間を超え、時間と濃度の両方に帰属し、“Response Profile” とよばれる関係に帰属する。全てのサイトは、この“Response Profile” 現象で示される。濃度の山と谷は、全期間、噴射の連続に対する直接の結果として観察される。

“Response Profile” は、又、全サイトを通じて時間と濃度で変化する。汚染集合にスパイクする各噴射が観察される。濃縮に続いて起きるスパイクの集中は、最初の汚染の固まりが結果的に除去されサイトの再生が実現されるように崩壊する傾向にある（図4-2）。

いろいろなサイト毎にみられる変化は、サイト、地質、水勢地質、汚染タイプ、濃度、噴射ギャラリー（I G）と噴射井戸（I W）の場所と数、ポンプと処理法の特性等多くの条件変化に関連する。

除去修復作業開始からの3ヶ月間は、S P T T噴射量を多く使用し、濃縮結果も最初のサイト条件から僅かしか低下しない。この開始時の反応は、“初期潜在反応” と名付けられ、S P T T適用のサイト条件による効果をテストする期間である。このテスト期間は、汚染が適切にコントロールされるかを確認し、S P T T適用条件の修正を行う期間である。これによって完全にコントロールされ、効果的な適用を把握出来る。この“初期導入期” は、適用によって将来得られる利益を利害関係者が理解出来る期間でもある。

一ヶ月毎にサイトから目に見える程の初期汚染除去があるなら、S P T T噴射法を適用すべきである。その後更に多くのS P T Tプロジェクトを引き受ける事が出来る。

図4-2 汲み上げ井戸での全期間のS P T T噴射による濃縮の Response Profile

#### 4 - 4 カプセル化の効果

殆どのSAA類は、臨界微小集合体として知られる。強固な微小体を形成出来る前に溶液中で臨界微小体を呈する。SPTTmixture内の分子は、有機分子を凝集する事が出来る（即ち部分的カプセル化）。CMCの下で濃縮井戸で水に溶ける様にする（図4-3）。これは、SPTTmixture中の各SAA分子の化学的性質の関係である。サイト修復の間、有機汚染物質の部分的カプセル化は、優勢である。

#### カプセル化効果

低位から中位へ

完成

図4-3井戸下でのSPTTの油滴の凝集、臨界微小体集合が汚染を水に溶解する  
サイト浄化の間に用いられるSPTT濃度は、サイトでの地下水処理に入り込み作用する水中の非常に低い濃度に帰結される。この事から、処理容量を超過した様な場合、処理システムの性能と作用に於ける負の効果に対し防護する作用をする。その事は、他のSAAが有効に作用する為にCMCを求める事で経験されている。これは、実地適用中に検証されている。

#### 4 - 5

選択的微小カプセル化は、SPTTの独特の特性である。これは、有機分子に引き寄せられた各SAA分子による疎水性（油に引き寄せられた）グループの機能である。機能的疎水性グループが変化する時、有機分子各SAAのタイプまたはクラスは、凝集性に対する親和性を持っていて、微小体の形成形態が変化する。ここで、選択性が目的とする有機成分に適した親和性を持ったSAA類の混合にSPTTが関与する。

選択的で、SAA類の適用類型化は、ガソリン、ディーゼル、モーターオイル、C重油、MTBE、PAH類、TEC、PEC、PCBとCTET（図4-4）の様な特殊なタイプの有機成分に対する特殊な適用を発展させて来た。

#### 汚染の選択的微小カプセル化

図4-4 疎水性グループの関与によるSPTTの選択的微小カプセル化

LNAPLとDNAPL有機汚染の特殊タイプとクラスの修復のために四つの基本的なSPTT mixture が、標準化されている。最初の研究は、LNAPL類を焦点とし、PAH類と選択的DNAPL成分を含む汚染に拡張された。選択性の部分的抜粋は、基本的SPTTmixture 4-1表に記載されている様に達成された。加えて、この表にリストアップされている溶解濃度のある物は、水中の選択的有機汚染に対応している。

Co-SAA効果は、SPTTのテスト開発中に実現された。或る有機汚染中で、水を媒体として第1、第2、第3と添加されたSAA成分単独の汚染カプセル化容量の合計よりSPTT mixture の汚染カプセル化全容量の方がより大きい事がいえる。Do-SAA効果は、C6~C11（即ちガソリン）、中範囲C11~C21（即ち燃料油とディーゼル）と重質C21（即ちC重油）の三つの主な hidrocarbon 範囲に対する選択的SPTTの適用の発展をリードして来た。特にSPTTは、日々集積されたラボと実地の結果に基づいた広い範囲の商業的適用の範囲を持っている。これは、LNAPLとDNAPLに限定されたものでなく、空気、土壌、地下水の汚染除去修復、脱油脂、油クリーニング、油回収の増強（oil-sand/oil/shale、）海岸の分散漏洩油、海岸線の漏洩油の清掃、医学用途好物浮選、工業的、化学的、臭気除去/コントロール、錆除去。

表4-1 適用と選択

| 有機汚染 | SPTT01 | SPTT02 | SPTT03 | SPTT04 | 水溶可濃度        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------------|
|      |        |        |        |        | ppb/ug/l-ppb |

#### 4 - 6 EX - S I T U

EX-SITU SPTT 手法が、汚染土壌掘削処理処理の非加熱処理法として開発され、特

許化された。プロセスは、特許の牽引脱水ユニット（図4-5）を使用する。これらは、EXサイト処理ユニット（ETUs）と呼ばれる。

各ユニットは、約30yd<sup>3</sup>の汚染土壌を一日二回転処理出来る。これは、一ユニット当たり一日95～115吨の処理量と計算出来る。この方式の利点は、汚染土壌処理量が計測出来、土壌が発生現場で処理される事である。更に搬出処理や廃棄処理より低コストで処理出来る。このプロセスはK=1X1/1000と1X1/100000の間の土壌タイプの範囲で効果的である。現場適用の典型として、二個のETUsを3m間隔で併設し、各ユニットは、高容量ポンプ、関連ホース、と機器をを備えている。汚染土壌は、掘削し、地上に積み置かれ、処置材料とする。それを各ETUsに運び、投入される。投入後SPTTを水と混和し、土壌の65～80%の含水率で飽和するまで含水させる。SPTTの濃度は、土の汚染レベルとプロジェクトの浄化目標値によって決定する。土壌は、4～6時間処理され、SPTT水溶液は、石油ハイドロカーบอนをカプセル化し遊離溶解しながら土壌床を循環する。

処理が完了すると、汚水は、高度な脱水能力を持った、処理ユニットに容易に急速に排出される。汚水は、直接処理されるか、貯留して後で纏めて処理する。

#### 図4-5 EX-SITU 処理ユニット

処理済み土壌は、ETUsのダンプ機能で、排出され、処理土壌ストックヤードに留置される。ETUsは、ダンプ作業完了で、次の処理サイクルにリセットされる。処理土壌は、スクリーニングにより浄化の完了を法規レベルで達成している事を確認する。

処理済み土壌は、プロジェクトの趣旨により、搬出するか、源位置に埋め戻すかする。

### 5.0 結論

選択層移動テクノロジー（SPTT）は、LNAPLとDNAPL、有機汚染、MTBE、の様な手におえない成分を含む非常に広い適用範囲を持っている。

IN-SITUかEX-SITUかの二者択一で、このテクノロジーは、与えられたサイトと汚染に対する最適のテクノロジーを選択出来る。

SPTTは、他のテクノロジー（即ちpH変化、高塩度、硬水化、温度変化、金属溶解、酸電位低下、地質的、複合汚染、高い汚染レベル）等の負の影響を環境に与える様な著しい作用が無い利点を有する。化学的置換（生物的又は他の修復法が基礎にしている化学酸化）に反応しない難処理成分は、SPTTの使用で容易に溶解し、土壌と地下水から分離浄化出来る。

有利な環境と人体健康へのテスト結果で、高度な生分解性（97%27日以内）により、最も環

境に優しいテクノロジーとなっている。この二つの機能は、低コストで、短処理期間でサイトを18ヶ月以内で95%以上浄化し、更に小さいサイトでは、12ヶ月以内で浄化出来る事を示している。