

合衆国における LNAPL（軽質非水性液相）汚染対策技術について

日本では、有害物質を含まない油単独の汚染対策は、直接法的規制の対象とならないケースが多いため、その修復対策は責任ある事業者による自主的な取り組みによって進められているケースが多い。一方合衆国では、「包括的環境対策・補償・責任法（CERCLA）」（1980）の枠組みで、汚染責任者を特定するまでの間、汚染の調査や浄化は環境保護庁（USEPA）が行い、浄化費用は石油税などで創設した信託基金（スーパーファンド）から支出する枠組みとなっており、その結果として、合理的かつ技術的に妥当な油回収等の修復技術に関する情報共有が進められている。

USEPA（1995）*1 や ITRC（2009）*2 は、LNAPL（light non-aqueous phase liquids；軽質非水性液相－水よりも比重が小さい油のこと）による汚染対策の技術として、

- ①LNAPL mass-recovery technology（除去技術）
- ②LNAPL mass-control technology（制御技術）
- ③LNAPL phase-change technology（相変換技術）

の三種類に大別して紹介されている。これらのうち③は、①の効果を促進するための技術といえる（詳細次頁表）。①②に関しては、下記が挙げられている。

表 ITRC（2009）で紹介されている主な LNAPL 除去技術と制御技術

	技術	概要	課題
① 除去	Excavation 掘削	開削や大口径ボーリングによる汚染部位の除去	安全性 環境負荷 コスト
① 除去	Air sparging / soil vapor extraction 気相抽出	水面下からの空気等注入によって汚染物質の揮発を促進させ、不飽和帯のガス成分を回収	汚染物質の性状・挙動把握 目標設定と達成速度 モニタリングと評価
① 除去	LNAPL skimming 油相回収	トレンチや井戸からポンプやベルトスキマーを使用して、水面上の油相を回収	汚染物質の性状・挙動把握 目標設定と達成速度 モニタリングと評価
② 除去	Natural source zone depletion 自然減衰	汚染物質の変質・崩壊、不飽和帯への揮発、水への溶解・拡散などによる汚染減衰	汚染物質の性状・挙動把握 目標設定と達成速度 モニタリングと評価
② 制御	Physical / hydraulic containment 封じ込め	物理的な地中壁や水位差等による水理障壁を形成、汚染物質の拡散を防止	汚染除去ではない モニタリングと効果検証 近隣合意
② 制御	In-situ soil mixing / stabilization 原位置攪拌・安定化	機械的に攪拌することによる、酸化分解の促進、薬剤等の混和による安定化	汚染除去ではない モニタリングと効果検証 近隣合意

*1 “Light Nonaqueous Phase Liquids”, C. J. Newell, S. D. Acree, R. R. Ross, and S. G. Huling, 1995, Ground Water Issue - EPA/540/S-95/500

*2 “Evaluating LNAPL Remedial Technologies for Achieving Project Goals”, The Interstate Technology & Regulatory Council, LNAPLs Team, 2009, ITRC Technical/Regulatory Guidance LNAPL-2.

サイトに特有の汚染状況や汚染物質の特性、地質・水理や社会条件、要求等に応じて、適切な環境修復目標を設定し、それらに対して適切な技術を複数組み合わせることが必要とされている (USEPA, 1996*3 など)。

表-2 ITRC (2009) で評価されている各種の LNAPL 汚染対策技術

Table 5-2. Summary information for remediation technologies

LNAPL technology	Advantages	Disadvantages ^a	Applicable geology (fine, coarse) ^b	Applicable to unsaturated zone, saturated zone ^c	Applicable type of LNAPL ^d	LNAPL remedial objective type (saturation, composition) ^e	Potential time frame ^f	Appendix A reference table numbers
Excavation	100% removal, time frame	Accessibility, depth limitations, cost, waste disposal	F, C	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short	A-1.x
Physical or hydraulic containment (barrier wall, French drain, slurry wall)	Source control, mitigation of downgradient risk	Hydraulic control required, site management, cost, depth and geologic limitations	F, C	S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. long	A-2.x
In situ soil mixing (stabilization)	Time frame, source control	Accessibility, required homogeneity, depth limitations, cost, long-term residual management	F, C	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short to short	A-3.x
Natural source zone depletion	No disruption, implementable, low carbon footprint	Time frame, containment	F, C	U + S	HV, HS	Sat + Comp	V. long	A-4.x
Air sparging/soil vapor extraction	Proven, implementable, vapor control	Does not treat heavy-end LNAPLs/low-permeability soils, off-gas vapor management	C	U + S	HV, HS	Sat + Comp	Short to medium	A-5.x
LNAPL skimming	Proven, implementable	Time frame, limited to mobile LNAPL, ROI ^g	F, C	S	LV, LS, HV, HS	Sat	Long to v. long	A-6.x
Biosurfing/enhanced fluid recovery	Proven, implementable, vapor control	Time frame, limited to mobile LNAPL, ROI	F, C	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	Long to v. long	A-7.x
Dual-pump liquid extraction	Proven, implementable, hydraulic control	Time frame, limited to mobile LNAPL, ROI	C	S	LV, LS, HV, HS, > residual	Sat	Long to v. long	A-8.x
Multiphase extraction (dual pump)	Proven, implementable, hydraulic control	Generated fluids treatment	C	S	LV, LS, HV, HS, > residual	Sat + Comp	Medium	A-9.x
Multiphase extraction (single pump)	Proven, implementable, hydraulic control, vapor control	Generated fluids treatment	C	U + S	LV, LS, HV, HS, > residual	Sat + Comp	Medium	A-10.x
Water flooding (incl. hot water flooding)	Proven, implementable	Capital equipment, hydraulic control required, homogeneity, flood sweep efficiency ^h	C	S	LV, LS, HV, HS, > residual	Sat	Short	A-11.x
In situ chemical oxidation	Time frame, source removal	Rate-limited hydraulic control required, by-products, cost, vapor generation, rebound, accessibility/spacing homogeneity, MNO ₂ crusting	C	U (ozone oxidant) + S	HV, HS	Comp	V. short to short	A-12.x
Surfactant-enhanced subsurface remediation	Time frame, source removal	Hydraulic control required, by-products, cost, dissolved COCs' treatment, required homogeneity, water treatment, access	C	S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short to short	A-13.x
Cosolvent flushing	Time frame, source removal	Hydraulic control required, by-products, cost, vapor generation, access, sweep efficiency	C	S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short to short	A-14.x
Steam/hot-air injection	Time frame, source removal, proven, implementable	Hydraulic control required, capital equipment, cost, required homogeneity, vapor generation, access, sweep efficiency	C	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short	A-15.x
Radio-frequency heating	Time frame, source removal, proven, implementable	Hydraulic control required, by-products, cost, vapor generation, access	F	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short	A-16.x

*3 "How To Effectively Recover Free Product At Leaking Underground Storage Tank Sites", A Guide For State Regulators, USEPA, 1996

Three- and six-phase electrical resistance heating	Low-permeability soils, time frame, source removal	Hydraulic control required, by-products, cost, energy required, vapors, spacing, access	F	U + S	LV, LS, HV, HS	Sat + Comp	V. short	A-17.x
--	--	---	---	-------	----------------	-------------------	----------	--------

- ^a Any of these technologies may have particular state-specific permitting requirements. Check with your state regulatory agency.
- ^b Applicable geology: F = clay to silt, C = sand to gravel.
- ^c Applicable zone: U = unsaturated zone, S = saturated zone.
- ^d LNAPL type: LV, LS = low volatility, low solubility, medium or heavy LNAPL (e.g., weathered gasoline, diesel, jet fuel, fuel oil, crude oil); HV, HS = high volatility, high solubility, light LNAPL with significant percentage of volatile or soluble constituents (e.g., gasoline, benzene); > residual = only for LNAPL saturation greater than residual.
- ^e Primary mechanism is in bold.
- ^f V. short = <1 year, Short = 1–3 years, Medium = 2–5 years, Long = 5–10 years, V. long = >10 years.
- ^g ROI = radius of influence.
- ^h Sweep efficiency is analogous to ROI, but injection technology refers to effectiveness of injectate dispersal (sweep).
- ⁱ COC = constituent of concern.

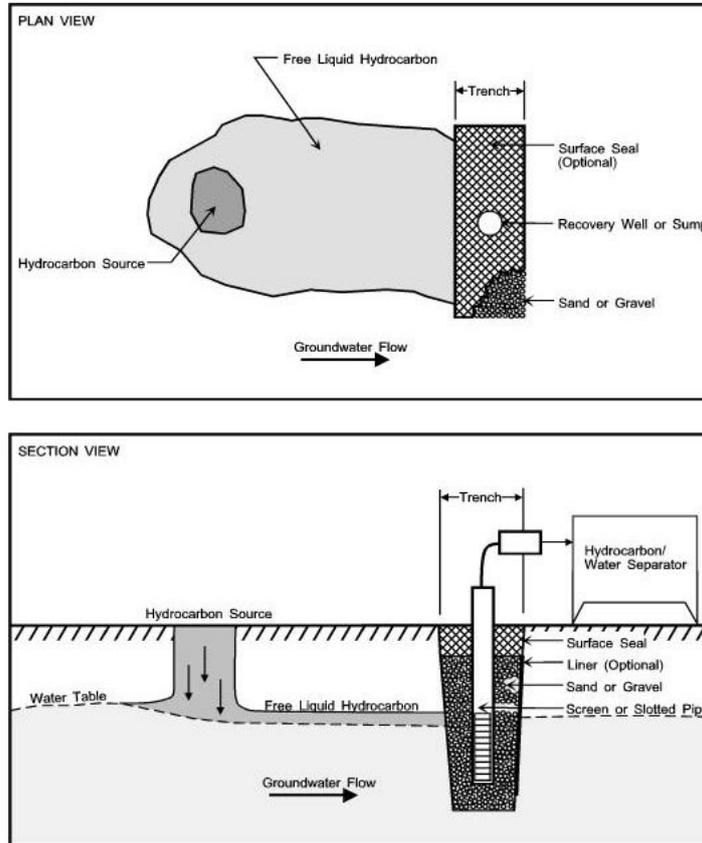


図-1 待ち受けトレンチによる油相回収システム

“How To Effectively Recover Free Product At Leaking Underground Storage Tank Sites: A Guide For State Regulators (EPA 510-R-96-001) September 1996.

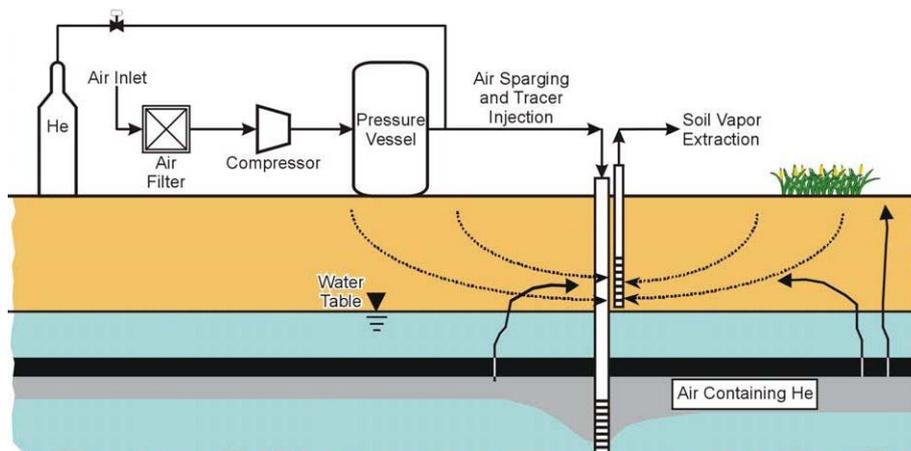


図-2 エアスパージング-気相抽出システム（とヘリウムをトレーサーとした試験）の例
 “AIR SPARGING GUIDANCE DOCUMENT”, NFESC Technical Report TR-2193-ENV, 2001

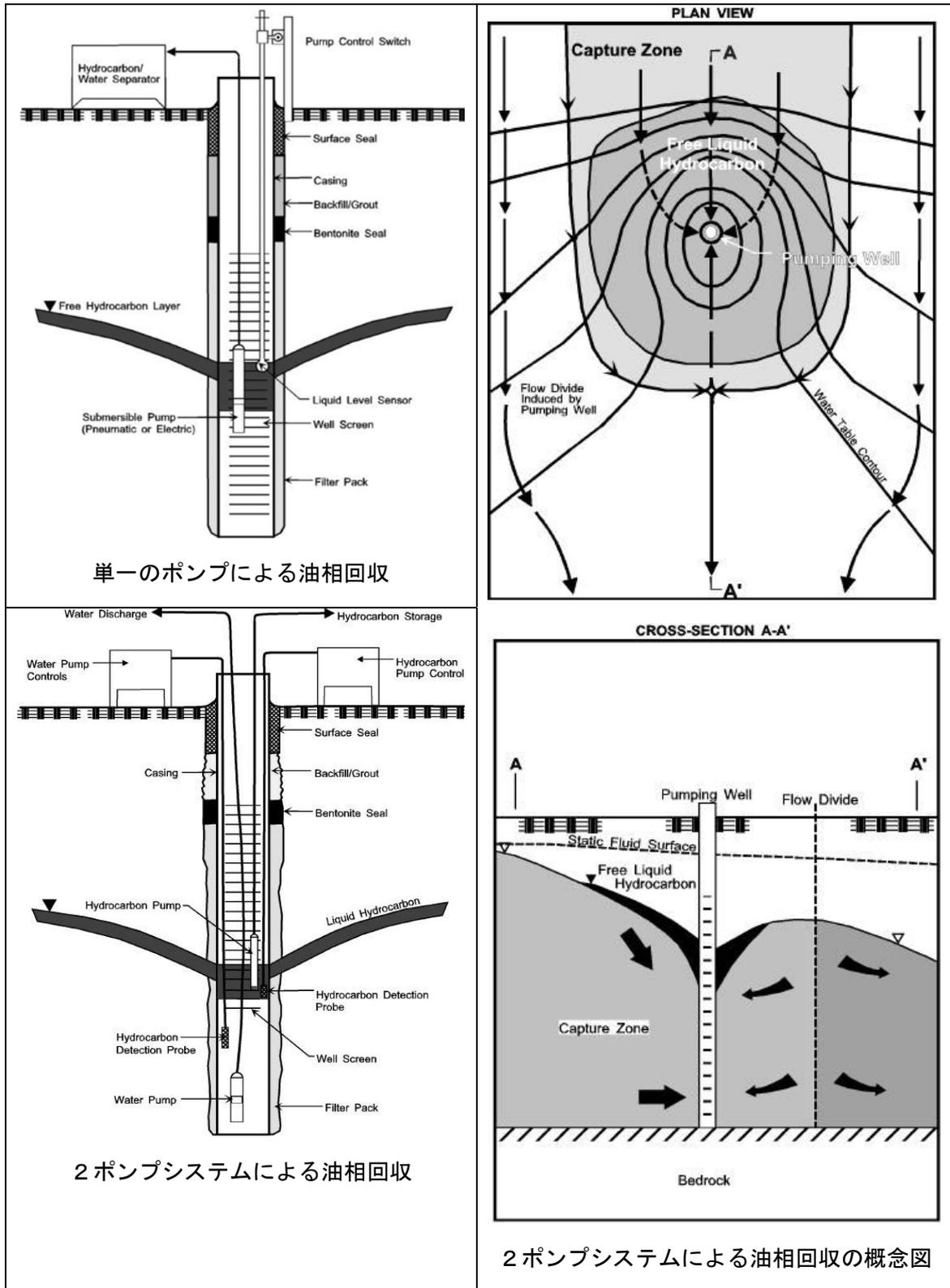


図-3 2 ポンプ井戸による水位勾配形成-油回収促進の概念図

“A Guide to the Assessment and Remediation of Petroleum Releases”, 3rd edition. API
 Publication 1628, Washington,DC., 1996.