

連携記事

メタルバイオテクノロジーを活用した セレン汚染土壌の浄化技術開発

Development of Purification Technology for Selenium-Contaminated
Soils Using Metal-Biotechnology

(株) ケー・エフ・シー
技術部
研究員

大塚 治
Osamu Otsuka

芝浦工業大学
工学部
教授

山下光雄
Mitsuo Yamashita

1 はじめに

セレンは主に硫化銅鉱物の夾雑物質として発掘され、セレンを主体とする鉱物は見つかっていない。セレンは主に火山性堆積物に含まれており(図1)、我が国には多くの火山があるので、土壌には自然由来のセレンが低濃度で含まれている¹⁾。土壌中ではセレンは毒性が高い可溶性のセレン酸、亜セレン酸として存在している²⁾。セレンは先端産業に活用されるレアメタルでもあるが、土木業界にとって厄介な元素であると認識されている。汚染土壌からのセレン溶脱による拡散と健康被害を防止するために、我が国では土壌中のセレンおよびセレン化合物量の環境基準値が定められている。平成22年の土壌汚染対策法の改正により、自然由来の汚染であっても基準値を超えた土壌の対策処理が必要となっている。

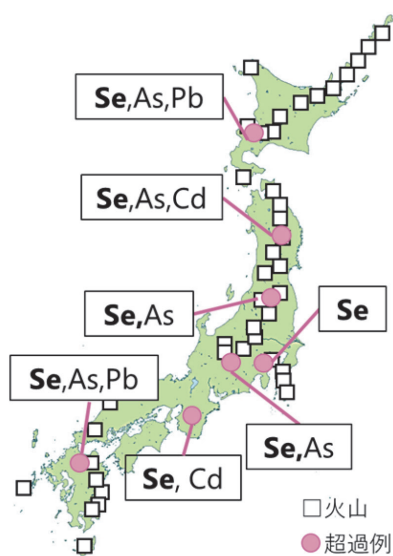


図1 国内での環境基準を超えたセレン箇所 (Online version in color.)

2 セレン汚染土壌処理

2.1 セレン環境基準

セレンの健康被害を防止する基準は2種類ある。土壌溶出量基準は70年間、1日2Lの地下水を飲用することを想定し、一生涯にわたりその地下水を飲用しても健康に対する有害な影響がないセレン濃度として基準値0.01 mg/Lが設定されている(環境省告示18号)。一方、土壌含有量基準は砂場遊びや屋外で活動をした際に土壌が手に付着し、それを摂食する場合が想定されている。一生涯(70年)汚染土壌のある土地に居住した場合を想定して算出され、セレン濃度として基準値150 mg/kgが設定されている(環境省告示19号)。これらの値は土呂久鉱山において公害を引き起こしたヒ素の基準値と同じ数値である³⁾。想定されるリスクが異なるために、土壌溶出量基準と含有量基準の試験方法は異なっている(表1)。

2.2 セレン汚染土壌処理の現状と問題点

大量の土砂を扱う公共工事では自然由来の重金属に遭遇する事例も多く、対策処理による工事施工期間の長期化や処理費用が嵩むことが問題となっている。セレンを含有する土壌は環境基準を達成するために、主に汚染土壌を遮水シート等で囲い込む「遮水工法封じ込め」がおこなわれてきた⁴⁾。遮水シートによって雨水と汚染土壌との接触を物理的に断つことで、汚染土壌中の重金属の溶出を防ぐものである。近年では、「遮水工法封じ込め」による処理コストが高いため、低コストで養生期間2日程度の不溶化処理が検討されている。しかし、廃水中と同様に土壌中であってもセレン酸は鉄系薬剤との反応性が低いことから、環境基準を満たすためには大量の薬剤が必要であり、セレン酸で汚染された土壌処理費用は高価である。不溶化処理は汚染土壌からのセレンの溶脱を防ぐ

ことができる一方で、セレン自体は土壤中にとどまるため、セレンの再溶脱のリスクが新たに生じるという問題がある。そのためセレンで汚染された土壌は不溶化処理後であっても、健康被害防止のため、再利用されることはない。セレン酸汚染土壌を不溶化する新たな方法として、植物代謝（ファイトレメディエーション）や微生物代謝（バイオレメディエーション）を利用した浄化が試みられているが⁵⁻⁷⁾、既存の工法と比較して浄化終了までに長期間要することが課題である。メタルバイオテクノロジーとは、既存の物理的・化学的プロセスによる採鉱、製錬や加工から処理・処分までに関する技術を生物学的なプロセスに置換でき得る新技術である。既存の物理化学処理では困難な特異的な反応を常温常圧でおこなえるという利点をメタルバイオテクノロジーは持っている。典型的な反応には、固相中の金属類を液相へ抽出作用するバイオリーチング、液相等の金属類の鉱物化・固化作用としてのバイオミネラリゼーション、金属類の気化作用としてのバイオボラタリゼーション、金属類の細胞表面や分泌物等への吸着作用としてのバイオソープションが挙げられる。金属とこれら生物反応を活用して、毒性の高いセレン汚染土壌処理を試みた。

2.3 セレン代謝細菌

新たなセレン代謝細菌を取得することを目的として、セレン精錬工場の排水処理設備に付着していたバイオフィームから、*Pseudomonas stutzeri* NT-Iが単離された⁸⁾。NT-I株は水溶液中の可溶性セレン酸や亜セレン酸を無毒で不溶性単体セレンまで還元する。さらに培養を続けると単体セレンからジメチルジセレニド (DMDSe) を生合成する⁹⁾。DMDSeは溶解度が低く揮発性が高いので、水溶液中から容易に揮発し、大気中に拡散する。NT-I株のセレン代謝により、土壌中の可溶性セレン酸や亜セレン酸を不溶性単体セレンにまで還元することができれば、環境基準を満たすことができると思われる。さらに単体セレンをDMDSeにまで還元することができれば、セレンは大気中へ揮発し、土壌中からセレンを除去できると思われる。よって、NT-I株のセレン代謝を利用したセレン汚染土壌処理は、新たな浄化処理技術の開発につながると考えた。そこで不溶化処理工法に使用される薬剤の代わりにNT-I株を土壌に混合する処理方法を考案したので、以下、本技術の概要について述べる（図2）。

2.4 模擬汚染土壌

トンネル掘削ずりを4か所の県から採取し、CB, FK, NI, YMと名称し、模擬汚染土壌作製に用いた。採取した掘削ず

表1 汚染土壌に関する環境省基準と試験方法

環境省告示	想定	名称	基準値	単位	攪拌溶出時間 (時間)	溶媒	液固比
18号	地下水への溶解	溶出量	0.01	mg/L (測定値をそのまま利用)	6	純水	10:1
19号	胃酸での溶解	含有量	150	mg/kg (土壌重量1kg当たりに換算)	2	1M塩酸	10:0.3

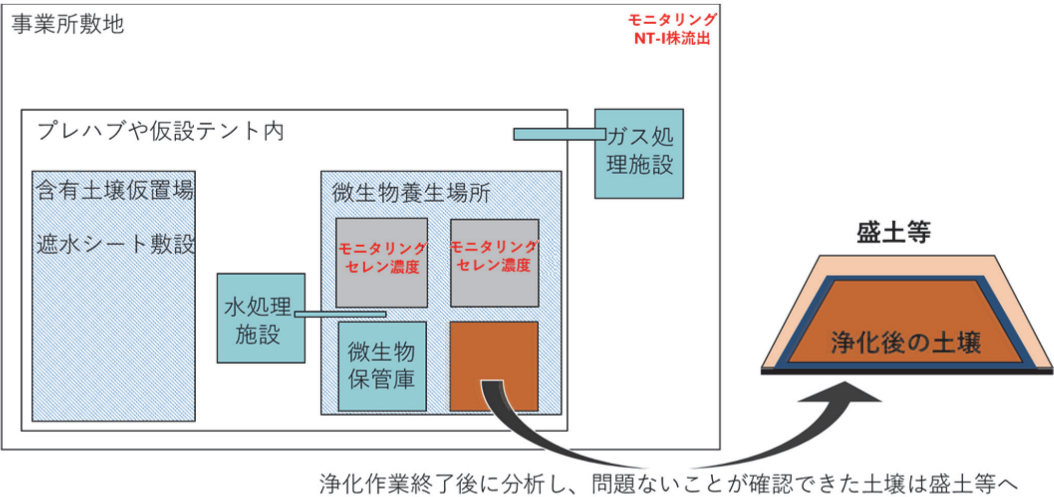


図2 *P. stutzeri* NT-Iによる土壌浄化戦略 (Online version in color.)

りを、直径1mm～2mmとなるよう破碎、分粒した。分粒後のサンプル土壌を用いて、土壌溶出量試験をおこなったところ、これら掘削ずりから環境基準を超過するセレンは検出されなかった。環境省によると、自然由来のセレン汚染と判定する基準としては、土壌溶出量が環境基準値の概ね10倍を超えないことが挙げられている。そこで本研究では模擬汚染土壌中の可溶性セレン濃度（土壌溶出量：mg/L）を環境基準値（0.01mg/L）の10倍未満となるようにセレン酸ナトリウム水溶液を添加し（表2）、これ以降の試験に用いた。

2.5 汚染土壌浄化試験

模擬汚染土壌に滅菌水、細菌用TSB培地およびコーンスターチ製造後副産物であるコーンステーパーリカー（CSL）2.0%を各添加し、対照試験として土着の常在微生物とNT-I株とによるセレン酸還元能の比較検討を行った。NT-I株による土壌中のセレン酸還元能を調べるために模擬汚染土壌にNT-I株培養液の菌体光学密度（OD）をOD=1.0に調整し、土壌重量の10%になるように添加し、培養温度を20℃に静置することを基本試験とした。土壌中のセレン還元の最適培養条件を検討するために、菌体光学密度ODを0.1から10、培養液量を土壌重量の5%から100%、培養温度を20℃から38℃、および培養液pHを5.0から9.0まで変化させた。NT-I株培養液を土壌に添加してから72時間後に試験土壌を採取し、土壌溶出試験によって可溶性セレン濃度を測定した。NT-I株培養液添加前の試験土壌中の可溶性セレン濃度を C_0 、添加72時間後の試験土壌中の可溶性セレン濃度を C_{72} として、72時間後の可溶性セレン除去率（%）を次式 $(C_0 - C_{72}) \times 100 / C_0$ で算出した。

セレン土壌溶出量は環境省指定の水抽出試験[JIS K 102 (2013)]を一部改変して以下のようにして測定した。採取した試験土5.0gに希塩酸を加えてpH 5.0～6.0に調整した純水50mLを加え、20℃で6時間振とう機によって可溶性成分を溶出した。溶出液をろ過膜を通して土壌と分離除去し、ろ液を試験液とした。この試験溶液中のセレン濃度を誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP - AES）で定量的に測定した。次にNT-I株のセレン代謝によって可溶性セレンが不溶性の元素態セレンに還元されているかを調べるために土壌中の

不溶性セレンを測定した。ろ過後の残土壌を純水で洗浄した後、この土壌に濃硝酸10mLを加え、土壌中の不溶性セレンを可溶化し、純水を加えて50mLとし、ろ過膜を通したろ液を検液とした。

3 セレン汚染土壌浄化試験

3.1 セレン汚染土壌浄化の最適化

土着微生物のセレン酸還元能を調べるために模擬汚染土壌YMに滅菌水、TSB培地、CSL培地を加えて72時間後の土壌中セレン不溶化率を算出した。NT-I株非存在下（土着の常在微生物のみ）では、土壌中のセレン溶出量は試験開始後72時間で変化せず、可溶性セレン除去率はほぼゼロであった（図3）。したがって模擬汚染土壌中にはセレン酸を還元できる微生物はほぼ存在していないことが示唆された。次に、滅菌水、TSB培地およびCSLの2%培地を用いたNT-I株懸濁液を模擬汚染土壌YMに添加したところ、72時間後の可溶性セレン除去率は50%を超えた。つまりNT-I株によって土壌中のセレン酸が少なくとも不溶性の単体セレンにまで還元され、可溶性セレンを減少させたことが示唆された。検討した溶液ではTSB培地での可溶性セレン除去率が最も高かったことから、以降の浄化試験に際してはTSB培地を用いた。

次に、懸濁液中のNT-I株濃度、懸濁液の添加量、培養温度および懸濁液の初期pHが可溶性セレン除去率に及ぼす影響を調べた。懸濁液中のNT-I株濃度が可溶性セレン除去率に

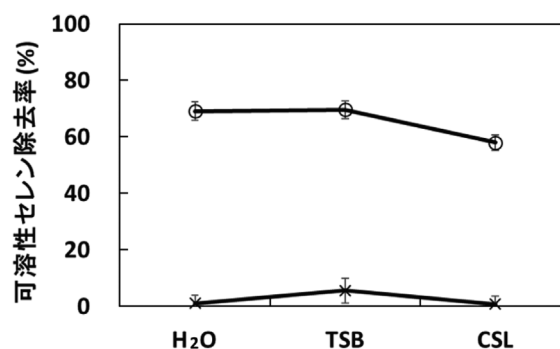


図3 模擬汚染土壌YMの可溶性セレン除去試験。
○：NT-I株添加、×：NT-I株無添加

表2 模擬汚染土壌中の各元素土壌溶出量

模擬汚染土壌	As	Cd	Cr	Pb	Se
CB	0.07	N.D.	0.01	0.06	0.03
FK	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.03
NI	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	0.05
YM	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.09

（単位 mg/L、N.D.：Not detected）

与える影響を調べたところ、懸濁液中のNT-I株をOD＝1.0、10とした場合には試験開始後72時間で可溶性セレン除去率は60％以上であった。特にOD＝1.0の場合に可溶性セレン除去率は最大で70％であった(図4 (a))。以上の結果から、懸濁液中のNT-I株濃度は可溶性セレン除去率に大きく影響を及ぼすことが示唆された。微生物量が少ないと微生物とセレン酸が接触する度合いが少ないため可溶性セレン除去率が低く、微生物量が多いと微生物とセレン酸が接触する度合いが多くなるが、微生物とセレンの接触率は飽和に達して可溶性セレン除去率が一定となったと推測される。

次に懸濁液中のNT-I株濃度をOD＝1.0に調整後、土壤重量の1％から100％に変更して添加した場合の可溶性セレン

除去率を測定した(図4 (b))。添加したNT-I株懸濁液が増加するにつれて可溶性セレン除去率は増加する傾向にあり、特にNT-I株懸濁液添加量を土壤重量に対して100％添加すると可溶性セレン除去率は最高値93％だった。添加量40％程度で可溶性セレン除去率が飽和しているように見えるのは40％で全ての粒子表面を濡らしたためだと思われる(図5)。粒子径1mm～2mmの模擬汚染土壤の表面をNT-I株懸濁液で濡らすために40％の添加が必要であった。元来の掘削ずりは小さくても数cmの大きさであるので、今回試験条件を合わせるために分粒した掘削ずりの表面積は実際のずりの1/100程度になる。実際のずり进行处理するために必要なNT-I株懸濁液はもう少し少量でよいと思われる。表面積が小さくなれば、

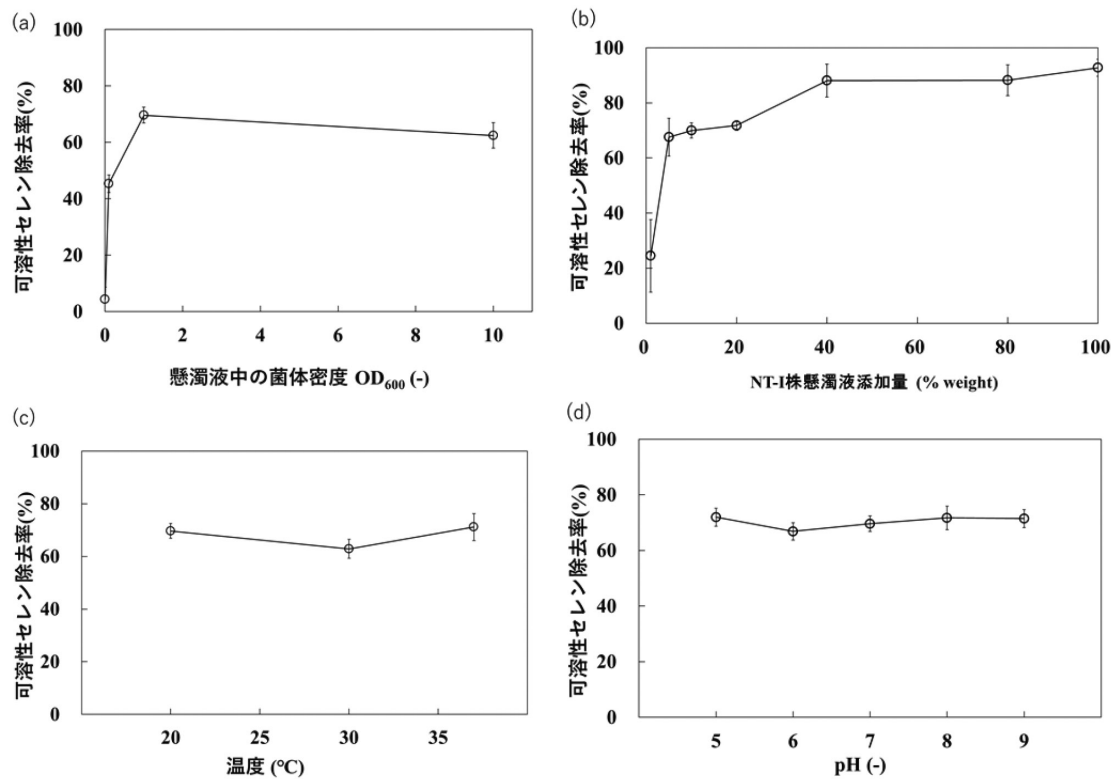


図4 可溶性セレン除去試験。(a) NT-I株懸濁液濃度 (b) NT-I株懸濁液添加量 (c) 培養温度 (d) NT-I株懸濁液初期pH

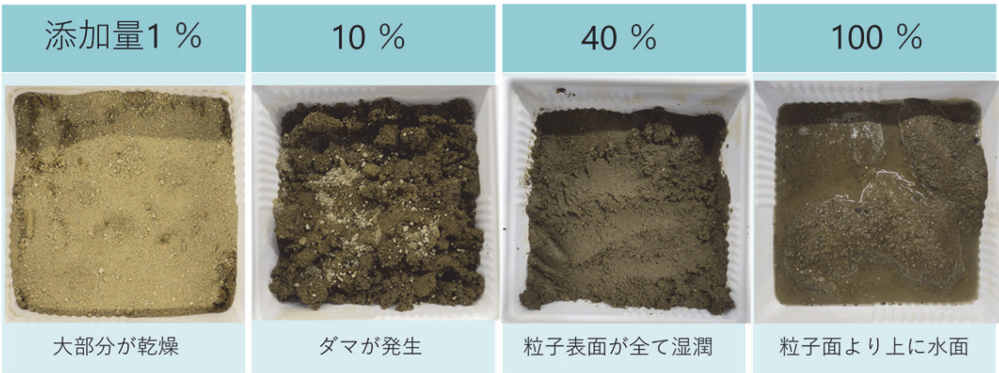


図5 NT-I株懸濁液添加後の模擬汚染土壤 (Online version in color.)

全粒子をNT-I株懸濁液で濡らすために必要な液量が少なくなり、コスト削減に繋がる。さらに掘削ずりを1mm～2mmに分粒するには多くの労力が必要であり、元来の掘削ずりの大きさとNT-I株によるセレン不溶化に成功すれば、コスト削減に繋がる。現在の法律では掘削ずり内部のセレンまで不溶化処理は求められていないので、ずり表面のセレンだけ処理すれば良い。掘削ずりの大きさは今後検討する必要がある。

続いて培養温度を20℃、30℃、38℃に変更して、温度が可溶性セレン除去率に与える影響を調べた。20～38℃に変えても、可溶性セレン除去率には有意な差はなく、3条件では60%以上であった(図4(c))。培養温度38℃で可溶性セレン除去率は最大75%と算出された。今回の試験のように土壌を室温以上に恒温にするためにはビニールハウス等で覆いヒーターを使う必要があるため、処理コストが高くなる。今後、実用化を目指して昼夜や夏冬の気温を考慮した試験を検討する必要がある。

最後にNT-I株懸濁液の初期pHを5.0から9.0に変更して、初期pHが可溶性セレン除去率に及ぼす影響を調べた(図4(d))。pHを変化させても可溶性セレン除去率は大きく変化することなく、試験をおこなった条件ではどのpHでも65%以上だった。特に初期pH9.0のときに可溶性セレン除去率は最大75%だった。土壌中重金属の不溶化処理に多用されている現行の鉄系不溶化剤はpHによって大きく不溶化に影響を受けるため、前処理として土壌改良(pH調整)をおこなう場合もある。本試験によってNT-I株による可溶性セレン除去はpHによって大きな影響を受けないという特長が示された。

以上の結果から、可溶性セレン除去はOD = 1.0のNT-I株懸濁液(pH9.0)を土壌重量の100%添加し、培養温度38℃で静置した場合に最適であった。実証試験を行うには、NT-I株懸濁液は濃度OD = 1.0以上、添加量5%以上、培養温度20～38℃、初期pH5.0～9.0の幅広い条件で土壌中の可溶性セレンを除去できたことは有利である。

3.2 採取産地別セレン汚染土壌浄化試験

我が国ではセレンとともに自然由来のヒ素や鉛が汚染していることが多くある。そこで掘削ずり採取場所の違いが可溶性セレン除去率に与える影響を調べるために、異なる産地で採取した掘削ずりで模擬汚染土壌を作製し、セレン浄化試験をおこなった(表2)。

初期pH7.0に調整した菌体光学密度OD = 1.0のNT-I株培養液を土壌重量の40%を採取別産地で作製した模擬汚染土壌に添加し、培養温度20℃で静置し、24時間毎に土壌を採取し、土壌溶出量を測定した。同様に微生物処理中の模擬汚染土壌セレン相変化を調べるために初期pH7.0に調整したOD₆₆₀ = 1.0のNT-I株培養液を土壌重量の100%になるよう

に模擬汚染土壌YMに添加し、培養温度38℃で静置した。24時間毎に土壌を採取し、土壌溶出量試験と土壌中の不溶性セレンを測定した。

まずはセレン酸を0.09mg/L含む模擬汚染土壌YMを用いて可溶性セレン除去率試験をおこなった。NT-I株懸濁液添加後から土壌溶出量が減少し、試験開始から72時間で可溶性セレン除去率は93%で、環境基準以下となった(図6)。

次にセレン酸濃度が異なる模擬汚染土壌FKの可溶性セレン除去試験をおこなった。0.03mg/Lのセレン酸を含む模擬汚染土壌FKの場合も添加後から溶出量が減少し、開始から48時間で可溶性セレン除去率は79%で、環境基準以下となった(図6)。

続いて自然由来のヒ素が含まれる模擬汚染土壌NIの可溶性セレン除去試験をおこなった。0.01 mg/Lのヒ素と0.05mg/Lのセレンを含む模擬汚染土壌NIにNT-I株懸濁液を添加すると、土壌溶出量は徐々に減少し、48時間で可溶性セレン除去率は93%で、環境基準以下となった(図6)。このことから、土壌中にヒ素が共存してもNT-I株の可溶性セレン除去に影響しないことが示唆された。

最後に自然由来のヒ素、クロム、鉛が複合して含まれる模擬汚染土壌CBの可溶性セレン除去試験をおこなった。0.07mg/Lのヒ素(基準値0.01mg/L)、0.01 mg/Lのクロム(基準値0.05mg/L)、0.06 mg/Lの鉛(基準値0.01mg/L)、0.03mg/Lのセレンを含む模擬汚染土壌CBにNT-I株懸濁液を添加すると、セレン土壌溶出量は徐々に減少し、72時間で可溶性セレン除去率は62%で、環境基準以下となった(図6)。模擬汚染土壌CB中のヒ素溶出量は変化がなかったが、鉛溶出量は環境基準値に達しなかったものの、初発時の約60%まで低減した。これはNT-I株の代謝産物と鉛が反応し不溶性となったと推測される。クロムは基準値内だったため経時変化での測定は実施しなかった。土壌中にヒ素だけでなく、クロムや鉛が共存してもNT-I株の可溶性セレン除去に影響し

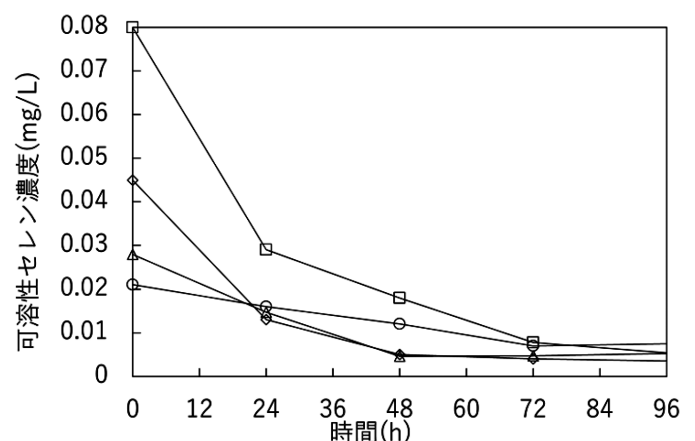


図6 産地別の模擬セレン酸汚染土壌浄化試験。
□ : YM、◇ : NI、△ : FK、○ : CB

ないことが示唆された。

今回試験をおこなった4県の土壌を用いたセレン浄化試験では、NT-I株培養液を添加することによってセレン溶出量は環境基準値以下になった。さらに処理に要する時間は72時間であり、既存の不溶化工法と同程度だと示された。低セレン濃度や他の重金属が混在している場合、不溶化剤の有効性が低下する可能性があるが、NT-I株による可溶性セレン除去能つまり不溶化能には問題がなかった。

4 汚染土壌処理のスケールアップとマスバランス

4.1 セレン汚染土壌処理のスケールアップ

今までの試験では100gの土壌を用いて可溶性セレン除去試験を行った。実際に処理する掘削ずり数は数ton単位である。NT-I株によるセレン不溶化処理の実用化を目指し、模擬汚染土壌FKを、1kgと100kgの土壌量を用いて試験した(初期pH7.0、懸濁液中の菌体光学密度OD=1.0、土壌重量の40%懸濁液添加)。模擬汚染土壌FK 1kgにNT-I株懸濁液を添加すると24時間以内に可溶性セレン除去率は78%で、土壌溶出量は環境基準以下まで減少した。100kgでも1kgと同様に、24時間以内の可溶性セレン除去率は78%で、環境基準以下まで減少した(図7)。以上のことから、100gから100kgの広い範囲で環境基準を達成する所要時間と可溶性セレン除去率について同様の傾向が見られた。NT-I株を用いた土壌中のセレン不溶化処理は土壌重量に大きな影響を及ぼさないことがわかった。

4.2 汚染土壌処理後のセレンマスバランス

土壌中のセレンマスバランスを調べるためにOD=1.0のNT-I株懸濁液(pH7.0)を模擬汚染土壌YM 100gに対して100%添加し、培養温度38℃で静置した。NT-I株は水溶液中ではセレン酸を不溶性の単体セレンに還元し、さらに

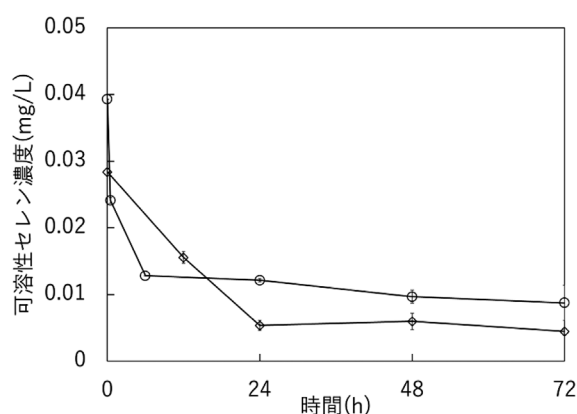


図7 模擬汚染土壌FKの処理スケール。
◇: 1kg、○: 100kg

DMDSeまで還元する。NT-I株により土壌溶出量を低減しているため、土壌中のセレン酸を少なくとも単体セレンにまで還元している。土壌中の可溶性セレンの相変化を調べるため、NT-I株添加後の模擬汚染土壌中のセレン相変化を経時的に調べた(図8)。前章では、菌体光学密度OD=1.0のNT-I株懸濁液(pH9.0)を土壌重量の100%添加し、培養温度38℃で保温すると、セレン不溶化効果が最大になることを明らかにした。日本の地下水環境基準はpH 6.5~8.5であり、環境汚染につながる可能性があるため土壌浄化にpH 9.0の培養液を使用することは難しいと考え、本実験ではpH 7.0の菌懸濁液を用いてセレンの相変化を調べた。

模擬汚染土壌YMに滅菌培地だけを添加した場合にはセレン濃度は初期値からほぼ一定であったが、NT-I株懸濁液を添加すると72時間で環境基準値を達成した(図8(a))。NT-I株を添加した土壌中の可溶性および不溶性セレン濃度を経時的に測定したところ、24時間後の可溶性セレン濃度が著しく低下し、不溶性セレン濃度が増加した(図8(b))。NT-I株添加後72時間までに、94%の可溶性セレンが除去された。この除去率はこれまで試験した条件の中で最も高かった。分析の結果、72時間後には初期濃度の約5%が可溶性セレン、49%が不溶性セレンとして検出された。したがって、初期土壌中の可溶性セレンの約46%はおそらく土壌から除去されたもの

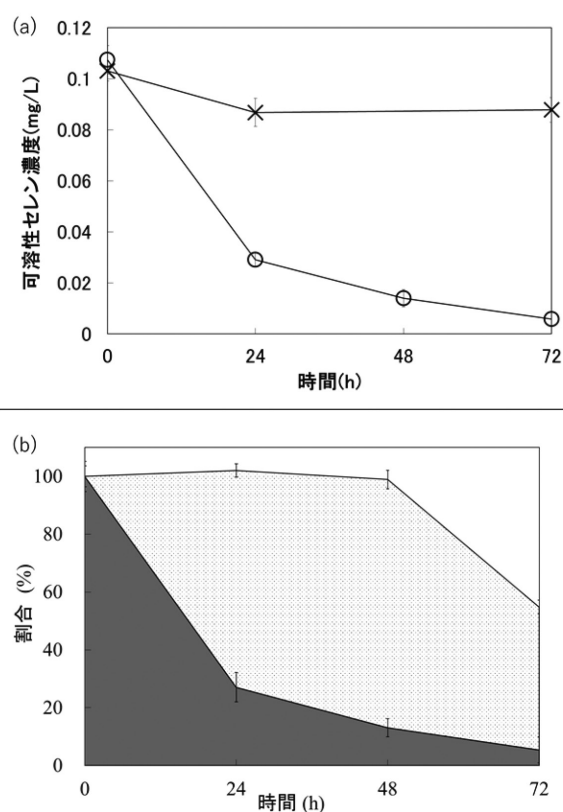


図8 模擬汚染土壌YMの土壌浄化試験。(a) 土壌溶出量の時間推移
○: NT-I株添加、×: 滅菌培地添加 (NT-I株未添加) (b) マス
バランス 黒色: 可溶性セレン、網掛け: 不溶性セレン

と思われる。

試験土壌の気相中のセレン濃度をガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) で測定したが、DMDSeなどセレン代謝産物を検出できなかった。しかしこれまでの知見からNT-I株は水溶液中で初期セレン濃度の82%を48時間でDMDSeとして揮発させることができるほどセレン気化能力が高いので⁹⁾、土壌中可溶性セレンは単体セレンを経てDMDSeまで還元され揮発したものと思われる。NT-I株のDMDSe合成は通気量に強く影響され、通気なしのフラスコ試験のDMDSe回収率は76%であるが、培養装置を用い強制通気にした場合、回収率は82%に増加した⁹⁾。したがって汚染土壌にポンプによって強制通気することで、NT-I株によるセレン除去を促進できる可能性がある。

我が国の自然由来のセレン汚染土壌中の可溶性セレン濃度はおおよそ0.02mg/Lである^{1,2)}。セレン汚染土壌のセレンを50%以上不溶化処理できれば、環境基準値の0.01mg/L以下を満たすことができる。本試験条件下では、培養温度や初期pHに関係なく、土壌重量に対して10%の菌体光学密度OD = 1.0のNT-I懸濁液を添加した時、可溶性セレン除去率が60%以上だったので (図4)、この結果を敷衍すれば環境基準値を達成できると思われる。以上のことから、NT-I株によるメタルバイオテクノロジーは我が国における自然発生セレン汚染土壌の最も有効な処理技術であると思われる。

5 まとめと展望

本研究ではセレン代謝細菌NT-I株を利用した土壌処理技術開発を行うために、模擬汚染土壌を使用した可溶性セレン除去試験をおこなった。

可溶性セレン除去試験によってNT-I株は懸濁液中のNT-I株濃度OD = 1.0以上、培養液添加量5%以上、培養温度20~38℃、初期pH5~9の幅広い条件下で、土壌中のセレンを不溶化できることが示された。特にOD = 1.0のNT-I株懸濁液を土壌重量の100%添加し、培養温度38℃で静置した場合に可溶性セレン除去率が試験条件で最も高いことがわかった。成分の異なる4県の土壌全てにおいてNT-I株によるセレン不溶化効果が見られた。実際の土壌処理量を考えて、NT-I株によるスケールアップを試みたところ100kgの土壌においてセレン不溶化効果が見られた。これらの結果はNT-I株が水溶液中だけでなく、土壌中でもセレン酸を還元できることがわかった。さらにNT-I株を添加して土壌中のセレン相変化を調べたところ、添加して72時間目には不溶化単体セレンだけでなく、それを介してDMDSeを合成し、土壌中のセレンを大気へ揮発除去していることが示唆された。

セレン汚染土壌の鉄系薬剤による不溶化処理は、土壌中の

セレンの溶解度を低下させるために健康被害の拡散を軽減できるが、生じた不溶化物を土壌からは除去できない。土壌中のセレンの除去方法として、洗浄液を用いて土壌からセレンを除去する洗浄処理という方法がある¹⁰⁾。洗浄処理によってセレンを除去した土壌は再利用できる。しかし、低濃度のセレンを含む廃水が大量に発生する可能性があり、生じた廃液を大規模に浄化する必要が生じる。また、洗浄液にキレート剤や溶剤を使用すると、廃水中の可溶性セレンを除去することがさらに困難になる。病原性のないNT-I株の散布によるセレン汚染土壌の生物学的処理は、土壌中の可溶性セレンを不溶性元素態セレンに還元し、汚染土壌からのセレン溶脱を防ぐことができる。さらに、セレンを揮発性DMDSeに還元することで、土壌から除去し、その後の土壌の再利用を可能にされると思われる。本結果は既存の不溶化薬剤にはない有益な特長であり、NT-I株によって処理された土壌の再利用の可能性を示している。

NT-I株は幅広い培養条件で土壌中のセレンを不溶化できることから、日本全国で利用できる。本技術はメタルバイオテクノロジーによる土壌不溶化を考える上での重要な知見となる。

参考文献

- 1) T. Mizutani, K. Kanaya and T. Osaka : J. Heal. Sci., 47 (2001) 4, 407.
- 2) H. Yamada, A. Kamada, M. Usuki and J. Yanai : Soil Sci. Plant Nutr., 55 (2009) 5, 616.
- 3) A. Ohtsubo : Nihon Eiseigaku Zasshi, 73 (2018) 3, 275.
- 4) 独立行政法人土木研究所編, 建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル, (2012).
- 5) M. C. Zambonino, E. M. Quizhpe, F. E. Jaramillo, A. Rahman, N. S. Vispo, C. Jeffryes and S. A. Dahoumane : Int. J. Mol. Sci., 22 (2021) 3, 1.
- 6) S. L. Wadgaonkar, Y. V. Nancharaiiah, G. Esposito and P. N. L. Lens : Crit. Rev. Biotechnol., 38 (2018) 6, 941.
- 7) L. C. Tan, Y. V. Nancharaiiah, E. D. van Hullebusch and P. N. L. Lens : Biotechnol. Adv., 34 (2016) 5, 886.
- 8) M. Kuroda, E. Notaguchi, A. Sato, M. Yoshioka, A. Hasegawa, T. Kagami, T. Narita, M. Yamashita, K. Sei, S. Soda and M. Ike : J. Biosci. Bioeng., 112 (2011) 3, 259.
- 9) T. Kagami, T. Narita, M. Kuroda, E. Notaguchi, M. Yamashita, K. Sei, S. Soda and M. Ike : Water Res., 47 (2013) 3, 1361.
- 10) P. P. Manca, P. Careda and G. Orrù : Int. J. Coal Sci. Technol., 5 (2018) 1, 70.

(2021年11月15日受付)