

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年9月3日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06558

研究課題名(和文) 最終処分場における焼却残渣の土壤還元化促進技術とその生物学的評価指標の確立

研究課題名(英文) Establishment of biological index for evaluating landfill stabilization level and pretreatment technology for accelerating of stabilization of incineration ash

研究代表者

立藤 綾子(田中綾子)(TACHIFUJI, AYAKO)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：10131830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：埋立廃棄物の安定化を生物多様性を有した土壤様物質へ改変することと位置付け、その評価指標としての生物指標の有効性及び土壤還元化を促進する技術について検討した結果、様々な環境阻害要因に耐性を有する芽胞及び一般細菌の生存率および群集構造解析の組み合わせが有用な指標であることを明らかにした。また、土壤還元化を阻害する高塩類及び高pHを一般環境レベルにするための洗い出し及び二酸化炭素による中性化を促進する技術として一旦固化させた焼却残渣の破碎処理及び破碎不燃物との混合処理が実埋立場の日常作業で対応できる有用な技術であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筆者らが本研究で適用する手法は汚染土壤の修復分野では比較的汎用性のある手法として認知されており、最終処分場の廃棄物を汚染物質と捉えると、汚染土壤が非汚染土壤に返還される過程は廃棄物の土壤還元化過程と類似するため、これら手法を廃棄物の特性に合わせた試験方法に改変することによって科学的根拠のある有用な手法となり得る。この手法によって、今後起こり得る潜在的なリスクも評価でき、リスクを低減する技術の提案も行えるため、最終処分場の維持管理期間の長期化や新規処分場建設の困難性等の最終処分場管理者が抱える問題に対する一つの解決策を提示することができ、最終処分場に掛かるコスト削減と負の遺産の削減に寄与する。

研究成果の概要(英文)：The main role of landfill is to change a stable waste with minimal environmental impact or final storage quality (FSQ) status by physical, chemical and biological reaction in nature. FSQ status might be in the same status as natural soil. In this study, we analyzed the survival rate of soil bacteria and substrate utilization pattern using BILOG assay on the incineration ash with different degree of weathering. From these results, it clarified that the survival rate of bacteria will be useful for evaluating the environment impact of waste body and the impact level can be evaluate by selecting the inoculum for the survival test. Moreover the crushing of solidified ash and the mixing of ash with crushed incombustibles before landfilling is useful for the stabilization of landfilled ash due to the acceleration of washout of pollutants and the neutralization of pH by air supply.

研究分野：工学

キーワード：土壤還元化 生態的安定化 土壤細菌の生存率 生物多様性 Biolog試験

1. 研究開始当初の背景

廃棄物最終処分場の廃棄物層が無害化した状態になるまでには、長期の維持管理期間が必要であるため、倒産等による維持管理者不在や構造の健全性が不明確な最終処分場跡地が放置されており、新規最終処分場の確保の障害となるケースが顕在化している。最終処分場の廃止基準として、浸出水水質とガス発生量等の放出物に関する規制がなされているが、処分場の廃棄物層自体については言及されていない。放出物の調査は人の健康診断における尿や血液検査に相当し、内部の状況を完全に評価できるものではない。このように処分場内部の環境汚染ポテンシャルが不明であることが、廃止後の管理期間を長期化させる原因となっている。

これら最終処分場の長期の維持管理期間によって、最終処分場が負の遺産になることを防止するために、最終処分場の早期無害化・安定化技術に関する研究は数多くなされているが、そのほとんどが廃止を目的としたもので、生態系への還元(土壌還元化)を目的とした研究例は少ない。特に、有機物量が少ない焼却残渣主体の最終処分場に関しては、微生物を利用した安定化技術に関する研究例は皆無である。微生物を利用した安定化技術の多くは、有機物を多量に含有する可燃物主体の最終処分場に適用される技術であり、空気の供給(Sangら、2008, 2009)や浸出水の埋立層への循環(Huangら、2004, Sangら、2008)等の微生物の生育条件を最適化する技術に関するものである。また、これら技術の評価指標としては、Huangら及びSangらは、浸出水及び廃棄物の微生物群集構造の有効性を提案し、空気が供給されると好気性微生物を優占種とする群集構造なることや浸出水の循環によって窒素の硝化・脱窒素に関連する微生物が循環しない場合に比べて多いことなどを明らかにしている。

筆者ら(坂田、2012)も、これまで、廃棄物の無害化及び安定化の担い手である微生物の活性を高める手法として浸出水の廃棄物層への循環や循環時に曝気やリン等の栄養塩添加が有効であることを好気性細菌数の増加や基質利用性の上昇などから明らかにしているが、それらの傾向は化学的データにおいて安定化促進技術の効果が有意にみられる場合にみられた。また、最終処分場の安定化を評価するために、廃棄物の最終安定化物質を土壌様物質(土壌還元化)と位置づけ、化学的データに基づいて安定化したと判断された廃棄物と土壌について、汚染物質の土壌への影響や土壌の回復状況等の評価に用いられているBiolog Eco-plateを用いた生理学的特性に基づく微生物群集解析(CLPP)を行い、廃棄物の土壌還元化のための生物学的指標としての有用性について検討した(尾木ら、2003)。その結果、焼却残渣が土壌様物質に変換された場合、その微生物群集構造が土壌の群集構造に近似することや安定した土壌に有機汚濁成分が負荷されると従属栄養性細菌群を主体とする群集構造に変化すること(田中、2004)などを明らかにした。しかし、焼却残渣の土壌還元化(図1参照)に中性化、塩類の低下及び腐植の形成のどのプロセスの寄与が大きいのか明らかになっておらず、土壌還元化を促進する技術の確立に至っていない。これは、模擬埋立実験では各種プロセスが並行して進行するためである。

そこで、本研究では、焼却残渣の有機物量、塩類量及びpHを変化させた試料を作成し、これまで筆者らが実施してきた各種培地での生菌数の計測、CLPP解析等の生物化学的手法や16SrRNA遺伝子のT-RELP解析等の分子生物学的手法を用いて微生物の多様性の回復状況を比較し、土壌還元化促進のための主要因を明らかにする。

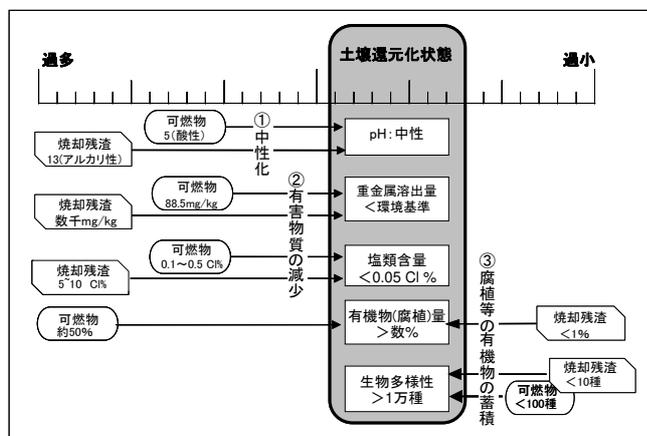


図1 土壌還元化プロセス

2. 研究の目的

廃棄物最終処分場は、環境保全上の支障を生じさせる恐れがない状態になると浸出水や発生ガスの処理が不要となり廃止ができるが、廃棄物層が一般土壌のような安定及び無害化した状態になる(土壌還元化)まで、土地利用が制限されており、負の遺産となっている。この問題を解決するために、廃棄物層の土壌還元化を促進する必要があるが、現行の最終処分技術のほとんどが抱える重金属類や高塩類問題を解決する技術ではない。本研究では、廃棄物層がpH緩衝機能やイオン交が有機物の削減を目標としたものであり、近年の埋立廃棄物の主体である焼却残渣や破碎不燃残渣等換機能などの土壌機能を有することが環境汚染リスクの低減に寄与することから、土壌機能の回復に必要な生物作用を活性化させる埋立技術と技術評価のための生物指標の確立を目指す。本研究の最終目標は、最終処分場の土壌還元化を達成するための手法を確立することであり、その第一段階として、筆者らが提案している土壌還元化プロセスの各段階を再現した試料を作成し、微生物数や微生物群集構造、そして、機能の違いを明らかにするとともに、それら違いを決定している要因を見つける。第二段階は、それら要因を促進させる埋立前処理方法や埋立廃棄物の組合せ及び覆土材の選定などの埋立方法を確立する。第三段階

は、F 市処分場を用いて、確立した各種前処理や埋立方法の実証試験を行い、手法の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、土壤還元化プロセスは、第一段階の塩類濃度の低下及び中性化を経て、第二段階の土壤有機物の蓄積に移行することによって、最終段階の生物多様性の回復が達成されると位置付けている。本研究の最終目的である土壤還元化技術の確立を達成するには、土壤還元プロセスの各段階の焼却残渣試料を作成し、生物機能の回復状況を調査する必要がある。そこで、清掃工場から排出された焼却残渣試料に二酸化炭素の供給や雨水による洗浄等を行い、土壤還元化状態の異なる試料を作成し、各種生物試験に供し、土壤還元を制限する主要因を抽出する。また、実最終処分場にて、攪拌や破碎不燃物との混合等の前処理を実施し、塩類の洗出しや中性化の促進効果を調査する。腐植等の土壤有機物の蓄積手法として土壤有機物の種類及び含有量の異なる覆土材を用いて検討する。以上の検討により、土壤還元化促進技術と土壤還元化を評価する有効な生物学的指標を提案する。

具体的には、1) 最終処分の最終目的である土壤還元化を早期に実現するための手法の確立、及び2) 土壤還元化を含む安定化を評価するための生物学的指標の確立を目指す。特に、生物の生息にとって劣悪な環境と考えられる焼却残渣主体の一般廃棄物最終処分場を自然生態系と調和した有用土地資源に還元するための土壤還元化技術として筆者らが提案している、“堆肥の覆土助材への適用や焼却残渣と不燃残渣との混合埋立”等の埋立手法の有効性明らかするとともに実用可能な手法を提案する。これらの目的を達成するために、以下の3つのテーマを実施する。本研究における各検討内容と研究者の役割の概要を図2に示す。

- ①平成 28・29 年度：土壤還元の制限要因の抽出と土壤還元化プロセスを評価する生物指標の確立
- ②平成 30 年度：土壤還元化技術の提案と実用化手法の確立

4. 研究成果

(1) 土壤還元の制限要因の抽出と土壤還元化プロセスを評価する生物指標の確立

本研究より得られた結果と過去の筆者らの研究を総括して、廃棄物最終処分場の安定化の各段階を評価するための微生物学的指標として図3に示す指標を提案する。

土壤還元化指標については、可燃物主体の処分場における環境汚染ポテンシャルの低下を評価する安定化指標として、低栄養性細菌の優占度を示す「R2A-DNB 指数」が有用である。また、微生物の生育にとって劣悪な環境である焼却灰主体の処分場における土壤還元化の初期段階を評価する指標として、土壤や堆肥中の細菌を添加してその生残率で評価する「細菌の生残率」が有用である。特に、芽胞の生残率を求めることによって土壤還元化の初期段階を更に詳細に評価できる。これらの段階を経て、安定化の最終目標である土壤様物質、つまり土壤還元化段階に達したかを評価する指標としては、生物多様性の増加を示す「基質利用性」や DNA 解析の基づく微生物群集解析が有用である。

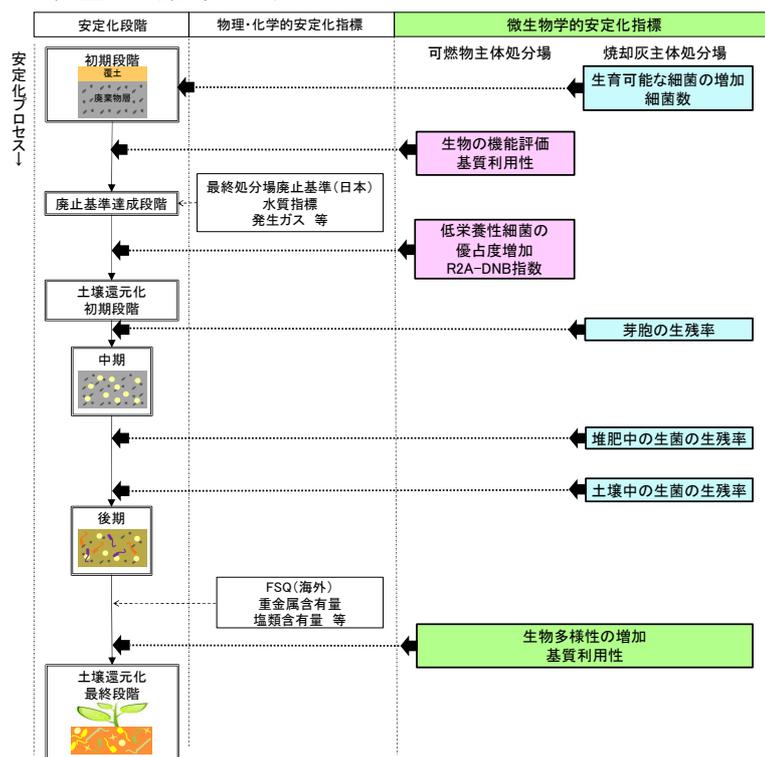


図3 廃棄物最終処分場の安定化のための微生物学的指標の提案

(2) 土壤還元化技術の提案と実用化手法の確立

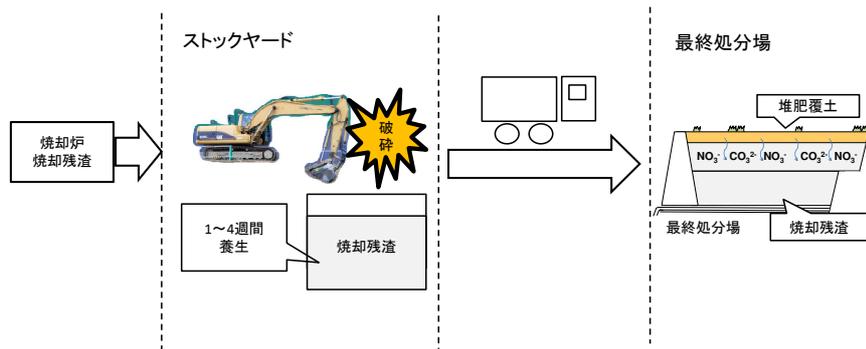
焼却残渣の土壤還元化促進のための技術は、破碎不燃物の埋立処分の有無によって異なるため、以下の2つの技術を提案する。

① 破碎不燃物を埋立処分していない場合

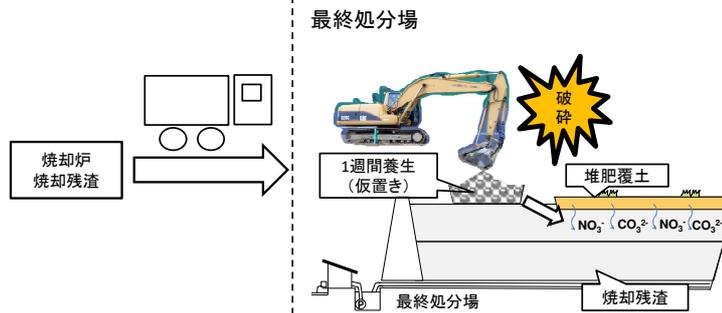
焼却残渣の発生量に応じて焼却残渣の養生場所を選択する必要があるが、養生によって固化した焼却残渣を破碎処理し、堆肥で覆土する方法である。この案では、焼却残渣の発生量が少ない場合、ストックヤードにて(図4(a))、発生量が多い場合は埋立場にて(図4(b))、約1~4週間程度養生する。その後、養生した焼却残渣をバックホウ等で破碎し、トラックに入れ、埋立地に搬入し、最終的に堆肥覆土を被せる方法である。

② 破碎不燃物を埋立処分している場合

埋立地に搬入された焼却残渣を焼却残渣：破碎不燃物=9：1か7：3程度で破碎不燃物と全体が混ざるように混合して埋め立てる方法である。これら混合廃棄物を埋立後に、堆肥で覆土する方法である(図5)



(a) 焼却残渣を毎日搬入していない最終処分場



(b) 焼却残渣を毎日搬入している最終処分場

図4 焼却残渣の土壤還元化促進のための固化後の破碎処理技術

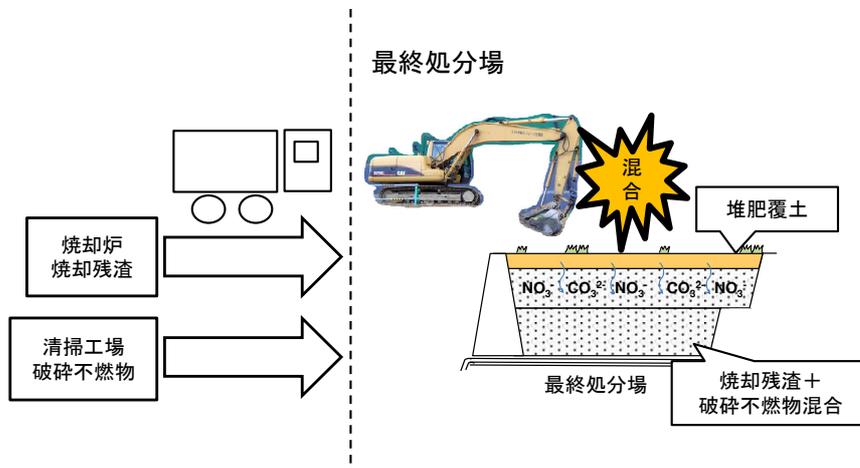


図5 破碎不燃物が搬入される最終処分場における焼却残渣の土壤還元化促進のための破碎不燃物混合技術

〈参考文献〉

- 1) 石川愛弓ら：分子生物学的手法及び培養法による埋立地浸出水処理微生物群集の構造解析，土木学会論文集 G (環境)，Vol. 68, No. 7, pp. 21-30, 2012.
- 2) 尾形有香ら：浸出水循環による塩類蓄積が微生物群集構造に及ぼす影響，第 25 回廃棄物資源循環学研究発表会講演論文集，pp. 421-422, 2014.
- 3) 尾木陽子：最終処分場の安定化と安定化促進技術の評価に関する研究，平成 15 年度福岡大学大学院工学研究科修士論文，2003.
- 4) 岡崎正規：土壤微生物，農土誌，p. 53, 2003.
- 5) 鮎川寿美子：廃棄物埋立の易生物分解過程に関する研究 (4)，1987.
- 6) 鍵谷司：廃棄物埋立跡地の特性と利用事例，環境技術，Vol. 18, No. 12, pp. 799-805, 1989.
- 7) 蒲生昌志，庄司正ら：A Method of Profiling Micro Communities Based on a Most-Probable-Number Assay That Uses BIOLOG Plates and Multiple Sole Carbon Sources, Applied and Environmental Microbiology, Oct, pp. 4419-4424, 1999.
- 8) 駒大輔：培地の成分知っていますか？，生物工学，第 89 巻，第 4 号，pp. 195-199, 1987.
- 9) 鈴木千夏ら：土壤微生物生態系研究における正準対応分析，土と微生物，Vol. 63, No. 1, pp. 32-38, 2009.
- 10) 立藤綾子：無機塩類が埋立層内の微生物分解過程におよぼす影響，廃棄物学会論文誌別冊，Vol. 6, No. 3, pp. 105-114, 1995.
- 11) 立藤綾子：廃棄物埋立層内の *Bacillus* 属細菌，-分類について-.
- 12) 立藤綾子：廃棄物埋立の微生物分解過程に関する研究 (5)，不燃性ごみ埋め立てについて，土木学会第 42 回年次学術講演会，昭和 62 年 9 月.
- 13) 立藤綾子：埋立地の微生物学的安定化指標に関する研究，私学研修，pp. 69-85, 2004.
- 14) 田中信壽：廃棄物最終処分場の廃止及び跡地利用の課題と対策，環境技術 Vol. 32, No. 9, pp. 682-687, 2010.
- 15) 田中信壽：環境安全な廃棄物最終処分場の建設と管理，技報堂出版，pp. 1-10, pp. 52-58, 2000.
- 16) 田中信壽：リサイクル・適正処分のための廃棄物工学の基礎知識，技報堂出版，pp. 1-10, pp. 174-178, 2003.
- 17) 友永ら：都市と廃棄物，Vol. 7, Vol. 10, 1999.
- 18) Tomonori Ishigaki：Microorganisms in landfill bioreactors for accelerated stabilization of solid wastes, Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 114, No. 3, pp. 243-250, 2012.
- 21) 服部勉ら：微生物の生育と栄養条件—低濃度栄養性細菌を中心として—，土と微生物，Vol. 63, No. 8, pp. 535-541, 1977.
- 22) 平田 修：準好気性埋立構造の初期段階における微生物分解特性.
- 23) 保坂三継ら：水の従属性栄養細菌試験における培地並びに培養条件の検討，東京衛研年報 52, pp. 245-249, 2001.
- 24) 松藤康司：浸出水流出特性と埋立地建設への課題，廃棄物学会誌，Vol. 8, No. 7, pp. 510-522, 1997.
- 25) 松藤康司ら：埋立構造と微生物，pp. 117-125.
- 26) 森浩二ら：廃棄物埋立地の微生物構造解析，環境技術，Vol. 31, No. 9, pp. 701-705, 2002.
- 27) 柳瀬龍二ら：残渣物主体埋立地の埋立廃棄物の地盤特性と化学的性状，第 24 回廃棄物資源循環学研究発表会講演論文集，pp. 503-504, 2013.
- 28) 青野力三：好アルカリ性バチルス属細菌が生産する耐熱性アルカリシラナーゼ，パルプ技術協会誌，第 48 巻，第 9 号，pp. 30-48, 1982.
- 29) 西原力：*Bacillus megatrium* の芽胞殻の化学構造と発芽機構との関連，日本細菌学雑誌，37(5)，pp. 829-838, 1982).
- 30) 36) 竹本智典：都市ごみ焼却灰中の不溶性塩素の消長メカニズムに関する基礎的研究，廃棄物学会論文誌，Vol. 19, No. 5, pp. 293-302, 2008
- 31) 樋口壯太郎：焼却灰埋立に伴う Ca^{2+} の溶出特性について (その 1)，全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp. 204-206, 1989
- 32) 米山健太郎：新規酸性ガス処理剤の適用による焼却施設向け薬剤処理の最適化，廃棄物資源循環学会誌，Vol. 25, No. 5, pp. 378-383, 2014
- 33) 島岡隆行：覆土膜構造を有する廃棄物埋立地の水分移動に関する研究，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 21, No. 2, pp. 67-76, 2010

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- 1) A. TACHIFUJI, Y. MATSUFUJI, S. SUZUKI: APPLICATION OF BACTERIA SURVIVAL RATE AND BIODIVERSITY INDEX USING BILOG TEST FOR EVALUATING LANDFILL STABILIZATION, 16th International Waste Management and Landfill Symposium, CD (2017.10)

〔学会発表〕 (計 2 件)

- 1) 立藤綾子，松藤康司：焼却残渣主体の最終処分場における埋立廃棄物の土壤還元化評価のための微生物指標-その 3- (2016.9)

2)立藤綾子, 平田修, 松藤康司: 焼却残渣主体の最終処分場における埋立廃棄物の土壌還元化評価のための微生物指標(4) ~埋立経過年の異なる焼却残渣中の細菌群集と土壌細菌の生存率~ (2018.9)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 平田修

ローマ字氏名: **Hirat Osamu**

所属研究機関名: 福岡大学

部局名: 環境保全センター

職名: 助教

研究者番号(8桁): 00461509

(2) 研究協力者

なし