

# トレンチ凍結に関する分析と提案

東北大学 流体科学研究所 圓山重直

(2014/8/16 作成)

## はじめに

最近の報道で、冷媒を用いた凍結壁でトレンチに入っている汚染水の凍結に失敗したことが報道された。この凍結壁の失敗は国民の多くや専門家が予測したとおりとなった。

今後、規制庁で新たな方向が検討されるということなので、トレンチの凍結失敗分析と新たな提案を行う。しかし、根本的には汚染水の原子炉建屋循環と原子炉建屋地中隔離を行って汚染水を元からシャットアウトすることである。

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/maru/atom/HTCRep/HTCRep.29.1.pdf>

[http://www.goodkyoto.com/p005\\_detail.html?search=%E7%AC%AC%EF%BC%95%E5%9B%9E%E3%82%AF%E3%82%AA%E3%83%AA%E3%82%A2AGORA\\_2013%EF%BC%8F%E5%8D%B1%E6%A9%9F%E6%B7%B1%E3%81%BE%E3%82%8B%E6%B1%9A%E6%9F%93%E6%B0%B4%E5%95%8F%E9%A1%8C%EF%BD%9E](http://www.goodkyoto.com/p005_detail.html?search=%E7%AC%AC%EF%BC%95%E5%9B%9E%E3%82%AF%E3%82%AA%E3%83%AA%E3%82%A2AGORA_2013%EF%BC%8F%E5%8D%B1%E6%A9%9F%E6%B7%B1%E3%81%BE%E3%82%8B%E6%B1%9A%E6%9F%93%E6%B0%B4%E5%95%8F%E9%A1%8C%EF%BD%9E)

今回は緊急提言として、なぜトレンチの凍結が失敗したのかの解析と、次善の策としてのトレンチ凍結方法の提案を行う。

## 1. なぜトレンチの凍結は失敗したのか

伝熱工学の専門家がこの永久凍土計画に参画していないことが大本の原因であると考えられる。

東電は自信たっぷり、低温のブライン（不凍液）を循環させることで永久凍土が形成され、その低温がトレンチ内部を凍結させることによってトレンチを止水し、高濃度汚染水をくみ出す計画を発表した。しかし、それに失敗すると、原因はトレンチ内の水の温度が推定より高すぎるとして水を大量に投入したが失敗した。さらに、ドライアイス投入しようと試みたが失敗に終わっている。

この失敗の原因として考えられるのは、「水が高温だったから」ではなく「水が自然対流で循環しているから」だと考えられる。つまり、低温の凍結パイプ近傍のトレンチ壁面が低温になるとその水は下部に貯まり、それがトレンチ底部の壁に広がる。その面積は膨大なので地中の熱で加熱された水が上昇し、トレンチ上部壁を伝わり、凍結近傍の壁に到達し、また冷やされて下降する。ただし水（海水）の零度近傍の密度変化は単純ではないので、より詳細な検討が厳密には必要である。

この熱移動は、工学部の伝熱工学で教える基本的なものであり、水の熱伝導より遙かに熱移動が大きいために、トレンチは永遠に凍らないことになる。たとえ、トレンチ内の水の平均温度を数℃に下げてもこの自然対流は止まらない。

東電関係者は小型のモデル実験で検証してから本計画を進めたとも考えられるが、この自然対流は、基本長さ（トレンチの流路高さ）の3乗に比例する無次元数（レイリー数）に支配されるため、小さなモデル実験ではこの自然対流の強度を模擬できない。もし東電関係者がシミュレーションで水を熱伝導のみの「固体」として計算したのなら論外である。そんなバカなことはしていないと思うが。

## 2. そもそもトレンチの汚染水とは

筆者は事故直後の2011年4月6日に汚染水の隔離について言及し、トレンチの構造とその止水について議論している。

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/maru/atom/HTCRep/HTCRep.10.1.pdf>

また2011年5月22日レポート

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/maru/atom/HTCRep/HTCRep.15.2.pdf>

10頁にトレンチ内の汚染水について議論している。

トレンチ内の汚染水は、いわば事故当時の汚染水の化石である。未だにタービン建屋とトレンチは繋がっているため、その汚染水濃度が余り変化していないということはトレンチ内の汚染水が漏れ出すことなくまた、タービン建屋の今やかなり汚染度が下がった汚染水と置き換わることなくそのままの状態であるという事実を示している。このことは、幸いにして、トレンチの壁の漏れは少ないことを示している。

従って、火急にトレンチを凍結して高濃度汚染水をくみ出し、そのことによって汚染水が環境に漏れ出るリスクを負うことはあまり賢くない。しかし、現状の対策が余りにもバカバカしいので、トレンチ内の汚染水遮断方法を幾つか提案する。

### 3. トレンチの止水方法の提案

#### 3.1 セメントまたは水ガラスの大量投入

トレンチの底部に水ガラスやセメントを大量に投入してトレンチを完全に塞いでから、縦坑の汚染水を除去する方法である。類似な方法を東電が考えているようであるが、これには膨大な投入量が必要であり、「お勧めしない」。また、仮にセメントで汚染水の漏出を塞ぐことができて、固まったセメントは、汚染水でできた高濃度汚染セメントである。後日これを取り除くことが大きな問題となる。

#### 3.2 液体窒素等の局所的凍結

真空二重管のパイプを凍結壁部分に到達させて、液体窒素を注入して一時的に局所的な氷を作り水の流動を止めることである。一端、シャーベット状の氷ができて水の流動が停止すると熱伝導で、凍結壁からの冷却によって当初計画の凍結壁が完成する可能性がある。そのためには、途中で液体窒素が蒸発しない断熱チューブ

真空仕様フレキシブルチューブ&ベローズ

<http://www.ork.co.jp/catalog/pdf/catalog3.pdf#search='%E7%9C%9F%E7%A9%BA%E3%83%99%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%BA%E7%AE%A1+%E6%96%AD%E7%86%B1%E7%AE%A1'>

液体窒素用真空断熱フレキホース

[http://www.klchem.co.jp/blog/2013/02/post\\_1959.php](http://www.klchem.co.jp/blog/2013/02/post_1959.php)

等を、凍結壁部分に到達させる必要がある。そのためには能動カテーテルのように、水中カメラでトレンチ内をモニターしながら、ロボット技術で凍結部に断熱管を異動させる必要があるかもしれない。

また、液体窒素を注入したとき、管出口で水が凍結し閉塞しないよう、適当な早さの液体窒素噴出速度が必要である。さらに、凍結するための液体窒素は全て気化してトレンチ入り口から吹き出すので、その周りの汚染水飛び散り対策は必須となる。

#### 3.3 凍結部の水の高粘度化

現状でトレンチ内の水が凍らないのは、トレンチ内に自然対流が発生しているからである。それを止めるためには、凍結部を著しく高粘度化すればよい。中華麺の「あん」が対流を阻止して麺が冷えない現象の逆である。水の動きが止まれば、現在設置したブラインの冷却管でも何とかトレンチ部を凍結することが可能かもしれない。

このためには、凍結部を紙おむつのような水性ゲル状物質で閉塞し水の流れを止めることである。ただし、このゲル状物質はトレンチの断面全域を閉塞する必要があるため、その技術については未

定である。また、凍結部にこの化学物質を注入する方法は、前節のようにトレンチ入り口からパイプを挿入する方法と、地上からドリルで凍結部に穴を開けてそこから化学物質を注入することが考えられる。しかし、前述のように、せっかく漏れのないトレンチの壁に穴を開けて、一時的にでも汚染水が漏れ出すことは、リスクを伴う。

## おわりに

冒頭にも述べたように、汚染水対策の根本は汚染水の原子炉建屋循環と原子炉建屋地中隔離を行って汚染水を元からシャットアウトすることである。筆者は、膨大なエネルギーと経費・時間がかかる凍結壁については懐疑的である。筆者の周りにも同意見の方が多し。

トレンチは、汚染水の象徴ではあるが、それが全てではない。無駄な試みをする、その分大変な苦勞をして、さらに放射能被曝の危険性を犯している多くの現場作業員（特に若者）の精神的・肉体的犠牲を伴う。8月19日に規制庁で凍土壁の再検討をすると報道されているが、既成概念や既製方針にとらわれず、あらゆる可能性とリスクを検討して、汚染水問題が解決する方向に進むよう期待する。