

温度情報からキャニスタ内のヘリウム漏えいを検知

背景

コンクリートキャスクでは、使用済燃料はキャニスタ内に収納されている。キャニスタの蓋部は溶接されているため、密封機能を有しているが、応力腐食割れ(SCC)などの要因による密封機能喪失に備えて、遠隔で漏えいを検知できるシステムを構築することが望まれている。

目的

キャニスタ内のヘリウム漏えいをキャニスタ表面の温度情報から早期かつ高い信頼性で検知する方法を提案する。

主な成果

1. ヘリウム漏えい検知方法の提案

鉄筋コンクリート(RC)製キャスクおよびコンクリート充填鋼板(CFS)製キャスクの二種類の実物大コンクリートキャスク(図1)を用いた試験結果より、キャニスタ底部中心温度(T_B)、キャニスタ上部中心温度(T_T)および給気温度(T_{in})の三点の温度情報のみからヘリウム漏えいを早期かつ高い信頼性で検知できる検知システム(図2)を提案した。

本システムの原理は、以下の通りである。

- (1) ヘリウム漏えいにより、キャニスタの内圧が低下すると、キャニスタ底部中心の温度(T_B)は著しく上昇し、キャニスタ上部中心の温度(T_T)は著しく低下する。この温度差 T_{BT} ($=T_B - T_T$)とキャニスタのヘリウム内圧との関係を図3に示す。ヘリウム漏えい時、すなわち、キャニスタ内圧低下時に、 T_{BT} が有意な差をもって上昇することから、 T_{BT} を監視することでキャニスタ内圧の低下を予測することができ、漏えい検知に対して有効であることが分かった。
- (2) T_{BT} は、通常時では、給気温度(T_{in})に追従した挙動を示す。一方、ヘリウム漏えい時には、 T_{in} が低下する際においても T_{BT} が単調に上昇する。すなわち、昼間から夜間にかけて T_{in} が低下する際にも、万一の漏えい時には T_{BT} が上昇する挙動を示すことから、ヘリウム漏えいの兆候を早期に検知できる(図4)。

2. 提案した検知方法の特徴

- (1) 三点の温度監視といった簡易な方法であり、遠隔監視ができる。
- (2) 発熱量が小さくなる長期貯蔵時においても信頼性が高い検知が可能である(図5)。
- (3) 貯蔵期間による発熱量の低減により、漏えい検知を誤認することはない(図5)。なお、本システムで検知できる漏えい率の限界値は、約 $10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ と考えられる。
- (4) キャニスタ内圧を高めるほど検知感度が良好になる。
- (5) 流路形状の異なるコンクリートキャスク(図1)でも本手法が適用できる。

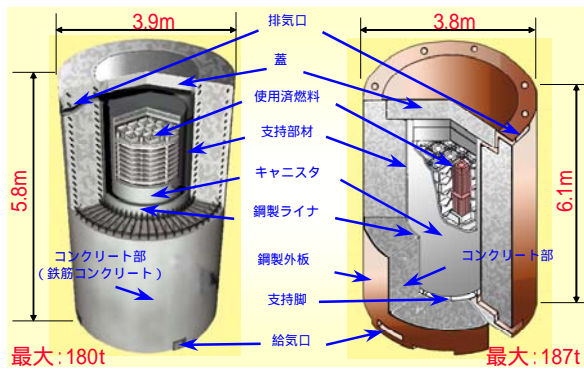
なお、本研究は、経済産業省 原子力安全・保安院からの受託研究として実施したものである。

主 担 当 者 地球工学研究所 バックエンド研究センター 上席研究員 竹田 浩文
主任研究員 亘 真澄

関連報告書 「コンクリートキャスクの実用化研究 - キャニスタ内ヘリウムの漏えい検知方法の開発 - 」 電力中央研究所報告: N04031(2005年6月)

「コンクリートキャスクの実用化研究 - 通常時の除熱試験 - 」 電力中央研究所報告: N04029(2005年6月)

4. バックエンド



RC 製キャスク

CFS 製キャスク

図1 コンクリートキャスクの概要

キャニスタは自然通風により冷却される。試験に用いた二種類のキャスクでは、それぞれ、冷却空気流路形状が異なっているため、キャニスタ表面温度分布も異なる。

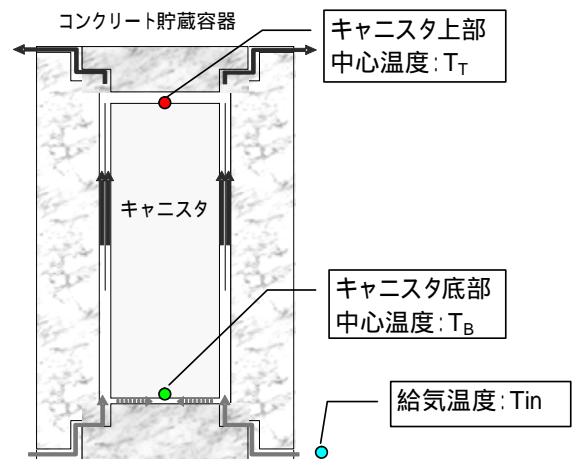


図2 検知システムの概要

ヘリウム漏えいは、キャニスタ底部中心温度(T_B)、キャニスタ上部中心温度(T_T)および給気温度(T_{in})の三点のみの温度情報から検知できる。

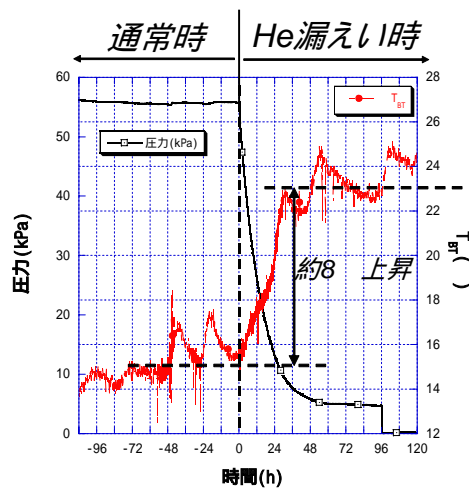


図3 T_{BT} と内圧の関係(CFS 製)

キャニスタ内のヘリウムが漏えいすると、 T_{BT} が増加することから、この値を監視することにより、漏えいを検知できる。

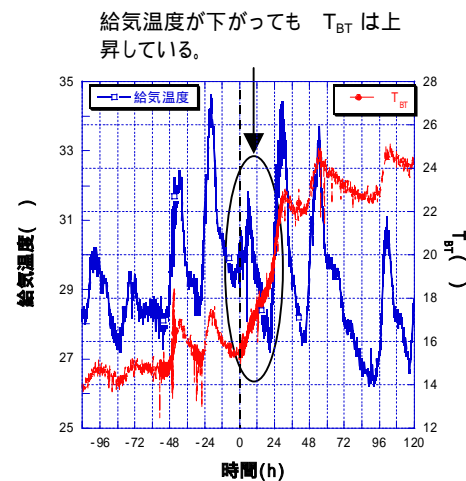


図4 T_{BT} と給気温度の関係(CFS 製)

キャニスタ内のヘリウムが漏えいすると、給気温度が低下する際も、 T_{BT} が増加することから、 T_{BT} に給気温度を加えて監視することにより、早期検知が可能である。

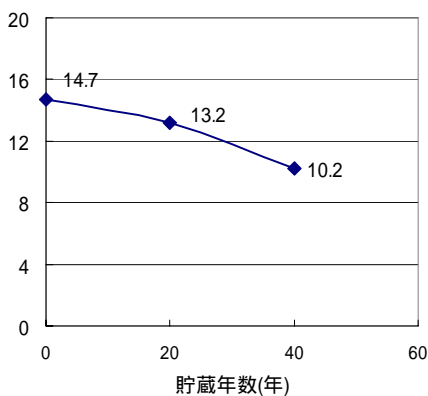


図5 貯蔵年数と T_{BT} の関係(CFS 製)

貯蔵期間が長くなるに従って、 T_{BT} は低下する。一方、ヘリウム漏えい時には T_{BT} が増加することから、長期監視の際に、検知を誤認することがない。