

機械設計技術者が推察する原子炉事故(下)

大滝 英征*

*おおよそ ひでゆき・埼玉大学名誉教授 日本機械学会フェロー

1972年東京大学大学院工学研究科修士、同年通産省(現経済産業省)工業技術院機械技術研究所に入省。自動車安全公害部安全設計課長などを経て83年に埼玉大学助教授、87年同教授。2009年退官。著書に最新JIS準拠機械製図(数理工学社)、機械の疲労強度設計法(日刊工業新聞社)など多数。

圧力容器内の蒸気による損傷

圧力容器内では、炉水と蒸気が混在する。したがって、生じる蒸気は湿り蒸気である。本来は、この蒸気を乾燥機により、乾き蒸気の状態にしてタービンへ送る。今回の事故に際しては、地震動を受けた直後から、乾燥器も機能していないと考えられるので、この湿り蒸気の状態を解析する。

初期には容積 V の圧力容器中に温度 T 度の水と蒸気が共存し、水の容積は $1/n$ を占めている。この湿り蒸気が等容の下で燃料棒の出力熱で加熱されると乾き度、圧力が変化する。この状態変化は10月号図5に示した蒸気の p - v 線図のようになる。 Q の領域が液体の状態、 R は液体と蒸気とが共存する湿り蒸気の領域。 T は過熱状態の領域である。

1. 初期の状態：

温度 T の場合の湿り蒸気の比容積 v は、

$$v = xv'' + (1-x)v' \quad [\text{m}^3/\text{kgf}]$$

v' : 飽和液の比容積

v'' : 乾き飽和蒸気の比容積

である。ここで、容器中の流体の重量(液体、蒸気を含めた)を G kgf とすると、

$$V = G \times v = G[xv'' + (1-x)v']$$

このうち、液体の占める体積は、

$$V_{\text{water}} = G(1-x)v'$$

したがって、

$$\begin{aligned} \frac{V_{\text{total}}}{V_{\text{water}}} = n &= \frac{Gv}{G(1-x)v'} = \frac{G[xv'' + (1-x)v']}{G(1-x)v'} \\ &= \frac{x}{1-x} \frac{v''}{v'} + 1 \end{aligned}$$

これより、

$$x = \frac{n-1}{\frac{v''}{v'} + (n-1)}$$

今回の事故時の想定温度 $T=280^\circ\text{C}$ の場合、飽和蒸気表から、飽和圧力、比容積を求めると、

$$p = 65.456 \quad [\text{kgf}/\text{cm}^2]$$

$$v' = 0.0013321 \quad [\text{m}^3/\text{kgf}]$$

$$v'' = 0.03013$$

$$r = 368.5 \quad [\text{kcal}/\text{kgf}]$$

$n=2$ であるとする、