

福島第一原発事故は けっして“想定外”ではない

議論されない原発中枢構造の耐震脆弱性

田中三彦

田中三彦 元原子炉構造技術者
一九四四年生まれ、バノック日立で福島第一
原発第四号機の原子炉圧力容器設計などを
担当。退社し、サイエンスライター。著
書に「原発はなぜ危険か」(岩波新社)ほか

それをテレビで目にしたことは確かだが、地震後しばらく経ってからのことだったか、よく覚えていない。白波を立てながら押し寄せてくる大津波の映像を息を凝らして見ているときだったか、それよりも前のことだったか、それとも家や車や船がきつぎと大津波に呑み込まれていく悪夢を身を固くして見ているときだったか、よく覚えていない。しかし

東京電力福島第一、第二原子力発電所や東北電力女川発電所などの運転中の原発が「自動停止」したというテロップがテレビ画面に流れたことは、確かに記憶している。心の片隅で、原発はあの激しい揺れに耐えられたらどうかと思っていたいから、それを見て少し安堵したが、同時に何か「つづき」がある

ような悪い予感もした。けれども、テレビにつきつぎに映し出される地獄絵図にただただ言葉を失い、そんなことはすっかり頭から消え去っていた。

しかし、じつはその想像を絶する悲劇と並行して、福島第一原発でもまた悪夢のような事態が進行しはじめていた。首相官邸ウェブサイトに二七日にアップされていた原子力災害対策本部の「平成二十三年(二〇一一年)福島第一・第二原子力発電所事故について」(平成二十三年三月二七日二時現在版。以下「三・二七事故報告書」)によれば、東北地方太平洋沖地震が発生して約一時間後の二五時四二分、東京電力は国に、1、2、3号機の交流電源がすべて喪失したとの通報(この種の通報は

「二〇条通報」といわれる)をおこなっている。さらに同報告書には、一六時三六分、1、2号機で「二五条事象発生、非常用炉心系装置注水不能」とある。こうした事態を受けて、国は一九時三分、福島第一原子力発電所を対象にした「原子力緊急事態宣言」を発令した。ちなみに、この原子力緊急事態宣言は、一九九九年九月のJCO臨界事故を教訓に一九九九年一二月に制定された二〇〇〇年六月に施行された「原子力災害対策特別措置法」にもとづくもので、実際に発令されたのはもちろんこれをはじめだったが、翌朝七時四五分にも、今度は福島第二原子力発電所を対象にそれが発令された。

私は個人的に、地震発生直後、とくに福島第一原子力発電所において、本当のところ何が起きたかを正しく分析しておくことが、福島原発事故の全体像を、そして日本の他の原発の安全性を理解する上できわめて重要なことだと思っ

冷却材喪失事故

結論から記せば、地震発生直後、1号機では地震時の揺れ(地震動)によってなにかの配管に規模の破損または大規模の破損が生じ、そのため原発事故でもっとも恐れられている——しかし技術的見地からは起るとは考えられていない、それゆえ「仮想事故」というラベル付けがなされてい

る——「冷却材喪失事故」が起きたのではないかと、私は思っている。それは私がいま手にできる限られたデータからの推測ではあるが、それらのデータは1号機で冷却材喪失事故が起きたことを強く示唆している。

ここで誤解なきよう付け加えるなら、現在進行中の福島第一原発事故の原因として多くの人が言及する大津波も電源喪失も、私がこの先述べようとしている冷却材喪失事故とは関係がない。つまり、私が思っていることは、配管が地震時に激しく揺れて破損し、その破損箇所から高温高圧の冷却材(水または水蒸気)が猛烈に噴出したのではないかとということ。電源喪失という事態がこの冷却材喪失事故と関係しはじめるのは、あくまで噴出後である。

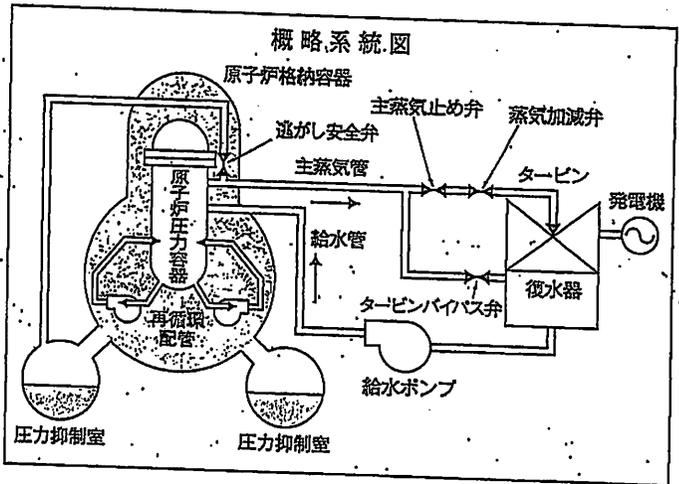
運転中の原発の冷却材喪失事故は一九七九年の米國・スリーマイル島原発事故でも起きているが、この場合はヒューマンエラーがいくつかわ重なったことが冷却材喪失事故をもたらしたのに対して、もし今回福島原発でそれが起きたとすれば、耐震強度上起きるはずがないとされてきたものが実際に起きたという意味で、きわめて深刻な冷却材喪失事故ということになる。そして、もしそういうことであるなら、福島原発大事故は大津波という「想定外の」自然現象によってもたらされた例外的事故、とすることはできなくなり、問題が日本中の他の原発の耐震安全性の問題へと波及する。たぶん、はやばやとそれを十分に意識していたのだろう。

原子力安全・保安院の説明にも、連日NHKや民放のテレビに登場する原発推進派の御用学者たちの解説の中にも、「冷却材喪失事故」という言葉は、私がかぎりにこれまでいっさい登場していません。しかし一連の物言わぬデータが、それを強くはめかしている。

一般の人間が、地震直後、1号機においてどんな事態の推移があったかを知る上で頼るべき、ある程度一貫性をもったデータとなると、これを書いている時点では「三・二七事故報告書」しかない。この報告書には福島第一原発の全六機（1〜6号機）の「原子炉水位」、「原子炉圧力」、「ドライウェル圧力」の時間的変化の二覧表が添付されている。しかし、もっとも重要な地震発生直前（三月二日）のデータが開示されていないので、1〜3号機が自動停止したあとの運転操作に問題はなかったか、安全弁の開閉はなかったか、などいろいろ気になるが（現在データ開示要案中）、そうした問題がなかったとすれば、一二日午後水素爆発を起すまでの1号機の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力の急激な変化は、典型的な「冷却材喪失事故」のように見える。

急降下した原子炉圧力と急上昇したドライウェル圧力

この先の議論のために、原発の仕組みを簡単に確認しておく（以下、進言 図を参照願いたい）。原子力発電であれば火力発電であり、基本的な仕組みは同じだ。どちらも高温高压の蒸気である。なお、このループとは別に、原子炉圧力容器の下半分の領域を循環している一対の「再循環ループ」というものもある。その目的については他番でも述べるとして、このループは、福島第一、第二原子力発電所で稼働しているような



「旧型の」沸騰水型原発に特有のものである。数十トンもの重さのポンプによって駆動される再循環ループが、はたして大地震時に耐えられるのかどうか、原発裁判などでこれまで必ず議論されてきた。

をタービンに当てて発電機を回して発電する。本質的な違いは、火力発電は石油、石炭、天然ガスなどを燃やして水を温めて高温高压の蒸気を生み出すのに対して、原発はウランの核分裂反応でそれを生み出していることだ。ウラン燃料を肉に取め、核分裂反応によって水（冷却材）を温めて蒸気を生み出す円筒状の鋼製容器を「原子炉圧力容器」という。その大きさは出力によっていろいろだが、福島第一原発1号機（出力四六〇MW）に関して言えば、直径約四・八メートル、高さ約二〇メートル、2・5号機（七八四MW）の場合は約五・六メートルと二二メートル、6号機（一〇〇〇MW）の場合は六・四メートルと三三メートルである。長さ四メートル強の数多くの核燃料棒は原子炉圧力容器の下半分寄りには配置され、その中心部をめぐり、一方、水は原子炉圧力容器の半分より少し上のところまで入っている。核燃料棒は必ず水面下になければならない。核分裂反応によって原子炉圧力容器の中心部で生み出された蒸気（圧力約七〇気圧、温度約二八〇℃）は、原子炉圧力容器の上部から主蒸気管に入ってタービンに向かい、タービンを回して発電したあと、「復水器」で水になり、給水ポンプによりまた原子炉圧力容器に戻される。

以上は、福島原発で使われている、いわゆる「沸騰水型原発」（BWR）についての簡単な説明だが、水（冷却材）が原子炉圧力容器とタービン、復水器、原子炉圧力容器という「1つの閉じたループ」をぐるぐる循環していることが特徴である。あの日、地震が起きてすぐ、運転中だった福島第一原子力発電所の三つの原発、1〜3号機は即座に自動停止した。6号機は定期検査中で停止していた。つまり、地震計が、ある値を超えた地震の揺れを観測したことで、炉心に制御棒が自動的に挿入され、核分裂反応が止まった。自動停止した直後の原子炉圧力容器の圧力と水位がどう変化したかを細かく知りたいたるところだが、前述のように、なぜか「三・二七事故報告書」には炉心の二日間のデータが示されていない。その報告書において、問題の1号機の炉心の圧力と水位のデータが最初に登場する日時は、地震から約二時間経過した二日午前二時四十五分だ。そして驚くべきは、そのときの炉心部の圧力が約〇・八〇MPa（約八気圧）と、異常なまでに低いことだ。自動停止直前の圧力は運転圧力の七〇気圧前後だったろうから、一二時間で七〇気圧から八気圧まで下がったことになる。こうした傾向は二、三号機にはまったく見られなかった。

2号機、3号機のデータを見てみると、2号機の炉心圧力は二日午前二時五十分五・六〇〇MPa（約五六気圧）とかなり高く、3号機でいたっては二日午前四時一五分に七・四七〇MPa（約七四気圧）と、運転時の圧力よりも高かった。しかも、圧力が高いために、主蒸気管、給水管、再循環配管などが破損して冷却材がそこから外部に噴出してしまったことを意味

しているだろう。

では、水位はどうだろうか。二日前五時二〇分、1号機の水位は燃料棒の最上端より二三〇〇ミリメートル「上」にあった。つまり、燃料全体が水中にあった。ところが、同日午前八時四九分に、水位は燃料棒の最上端より四〇〇ミリメートル「下」にあった。なんと、燃料棒が水面から四〇センチも上に顔を出したのだ。では、2号機、3号機はどうだったか。2号機の水位は二日前午後約三六〇〇ミリメートル程度あり、少なくとも水位に関してはまったく問題がなかった。これに対して3号機の水位は、二日前四時一五分に〇ミリメートル、その後午前八時三〇分に四〇〇ミリメートルまで上昇するが、ふたたび下がり、その後一八時三〇分には二二〇〇ミリメートルまで回復している。2、3号機のこうした変動も気になるが、その2、3号機に関しては、とりあえず二日に水位が燃料棒の上端より下にくる——つまり、燃料棒が水面から顔を出す——ことはなかった。

つまり、もっとも重要かつ示唆的なデータを目に向けてみると、それは「ドライウェル」の圧力である。

原子炉圧力容器は「格納容器」という構造物の中に格納されている。その格納容器は大きく二つの構造からなる。一つは、原子炉圧力容器を文字どおり格納している「ランダム」状の「ドライウェル」、もう一つは「圧力抑制室」(サブプレッション・プール)あるいはウェットウェルとも言う。後者は、図では二つに分かれているが、実際には「ドライウェル」と「サブプレッション・プール」が一体化している。二つを差し引いた「ドライウェル」のうち、約八四気圧になる。これは、すべて前記で説明した設計圧力(約四気圧)の二倍の圧力である。巨大な格納容器がいつ破裂しても不思議ではない、ひじょうに高い圧力だ。地震発生からわずか半日、なぜ1号機の格納容器にはそんな高い圧力がかかっていたのか？

論理的に矛盾しない答えを見いだすのはそう難しくない。強い地震動にさらされたために、原子炉圧力容器を出入りしている管のうちのいずれかが——たとえば、かねがね地震時の健全性が問題にされてきた再循環系配管が——破損(または破裂)し、そこから冷却材が大量かつ継続的に噴出する冷却材喪失事故が起こり、そのために格納容器の圧力がどんどん上昇し、設計圧力の二倍にまで達した、というのがその答えである。

配管が破損すれば原子炉圧力容器の圧力は短時間のうちにかなり低下するはずだし、その破損箇所から冷却材が大量に噴出すれば、原子炉圧力容器内の水位は次第に下がっていくはずだ。事実、データがそれを物語っている。すでに述べたように、二日前二時四五分までは、原子炉圧力容器の圧力はわずか約八気圧まで低下していたし、冷却材水位は、二日前八時四九分に燃料棒の最上端より四〇〇ミリメートル「下」まで落ち、同日二時二八分にはなんと一七〇〇

の円として示されているが、これは断面図であって、実際には「ランダム」などでよく説明されているように「ランダム」の構造をしている。いや、もっと厳密に言えば、「ドーナツ」のような完全な円形ではなく「正六角形」である。この二つの構造——ドライウェルと圧力抑制室——は、合計八本のベン・ト管で連結されている。

この巨大な格納容器の存在理由はただ一つしかない。原子炉圧力容器に出入りしている配管のいずれかが破損や破断するなどして、放射性物質を含む冷却材がその損傷箇所から一気に外界に噴出しないよう、ただそれである。要するに、冷却材喪失事故という仮想事故のための巨大な防護壁である。

内部に水素ガスが入り込んでいても爆発しないように、原発の運転中、格納容器内には窒素ガスが封入されている。また、圧力は大気圧(約一気圧)よりほんの少し低く設定されている。一方、格納容器には「設計圧力」と「設計温度」というものもある。これは、再循環系の太い配管が破断して冷却材が格納容器内に一気に噴出した場合の、格納容器にかかる推定圧力と推定温度だ。圧力は約四気圧、ドライウェル温度一七〇℃前後である。格納容器は、これらの圧力、温度にもっともたえるように構造設計されている。

さて、「三・二七事故報告書」によれば、二日前二時四五分、1号機のドライウェル圧力は大気圧を含めた「絶対圧」で〇・九四一MPa(約九四気圧)だった。通常、構造設計ミリメートル下まで達していた。約四メートルの燃料棒のうちの四割以上が、水面から顔を出していたのだ。

そして最悪なことに、それからほぼ二時間後の二時三六分、1号機の最上階(普通、オペレーションフロアと呼ばれる)で、大規模な水素爆発が起きた。必然的な結果である。繰り返せば、以上の推論過程には大津波も全交流電源喪失も一度も登場しない。大津波がこなければ全交流電源喪失もなかったかもしれないから、水素爆発というきわめて危険な事態を回避することは、あるいはできたかもしれない。しかし、冷却材喪失事故そのものを回避できなかったわけではない。

保安院、A審議官の、まさかの反論

知り合いの雑誌記者が話してくれたことが、私が考えているような冷却材喪失事故の推論を、原子力安全・保安院のA審議官は、原子炉圧力容器の圧力が約半日で七〇気圧から八気圧まで急激に低下したのは冷却材喪失事故が起きたからではなく、「逃し安全弁がずっと開きっぱなしになっていた」からだ」と反論したらしい。さらに返す刀で、冷却材喪失事故というのとは別の空焚き状態になる事故のことで、福島原発はこの号機も空焚きにはなっていないから、冷却材喪失事故は起きていない、と述べたという。嗚呼……である。冷却材喪失事故の定義をどこかでしっかり勉強してもらいたい。話を逃し安全弁に戻す。「逃し安全弁」は、主蒸気管に

いている(図参照)。この安全弁は、いつもは閉じているが、何らかの理由で原子炉圧力容器の圧力が上がりつつあるようなことがあると、圧力がある値に達したとき、それが自動的に開く。その結果、原子炉圧力容器内の蒸気が、長い管を通じて圧力抑制室に入っていく。圧力抑制室に入ると蒸気はただちに水に変化する。体積収縮が起って原子炉圧力容器や各種配管の圧力が低下し、それにより原子炉圧力容器や各種配管の健全性が維持される。

A氏の反論はこうだ。福島第一原発では地震時に全交流電源喪失という非常事態が起き、原子炉を冷却することができなくなった。その結果、核分裂生成物が出ず崩壊熱により冷却材の温度がどんどん上昇し、原子炉圧力容器の圧力がどんどん上がった。しかし、安全弁が開いた。逃し安全弁は全部で八个あり、しかもそれぞれが太い配管につながっているから、原子炉圧力容器の蒸気は大量に圧力抑制室に送り込まれ、その結果、原子炉圧力容器の圧力はほとんど低下した。要するに、冷却材喪失事故が起きて圧力が低下したのではなく、逃し安全弁を開きっぱなしにしていたから低下したのだ、というわけだ。まさか……冗談を……。

故意であれ故障であれ、もし逃し安全弁を「開きっぱなし」にしていたら、それは大変な問題だ。なぜなら、原子炉圧力容器の水がほとんど圧力抑制室に流れつつある、その結果、原子炉圧力容器の水位がほとんど低下し、燃料棒が水面から水位が低下し、燃料棒が水面から大きく露出して高温になり、高温のジルカロー被覆管が水蒸気と反応して水素を発生させ、その水素が配管の損傷箇所から冷却材とともに格納容器内に噴出した。水素は軽いので格納容器(ペライシオンフロア)の最上部に集まる。格納容器は酸素ガスで満たされているから、ここで爆発することはない。

格納容器の最上部は、直径が一〇メートル近いお椀型の鋼製の上蓋が多数のボルトでドライウェル本体と接合しているところだ。両者の接合面(フランジ面)にはシリコンゴム製の「パッキン」が挟まっている。そしてたぶん、ここに集まった水素は、おそるおそるフランジ面を通して上蓋の外に流れ出したと推測される。なぜなら、このフランジは、もともと格納容器の設計圧力(約四気圧)で設計されているが、すでに書いたとおり、格納容器にはその倍の八気圧もの圧力がかかっていたから、その圧力でフランジ面に隙間が生じた可能性がある。また高温のためにシリコンゴムのパッキンが損傷した可能性もある。この上蓋の向こうがオペレーシオンフロアだから、フランジ面をすり抜けた水素はオペレーシオンフロアに集まり、大気中の濃度がある値以上になったところだ。

顔を出し、燃料損傷が起り、水素が発生し、水素爆発が起り、燃料のメルトダウンが起るからだ。万一にもそうならないようにと、逃し安全弁は、原子炉圧力容器の圧力がある程度下がったら自動的に閉じるようになっていた。したがって、原子炉圧力容器の圧力が一度に極端に下がることはない。閉まるはずのものが故障で閉まらなくなることを、井の「開固着」という。開固着で安全弁が開きっぱなしになり、それに人為的ミスも加わって燃料がメルトダウンしたのが、あのスリーマイル原発事故であること、A氏が知らないはずはない。

1号機はどのようにして水素爆発にいたったか？

福島第一原発1号機は三月二日一五時三六分に水素爆発を起している。先に書いたように、1号機の燃料棒は二二日前八時四九分には四〇〇ミリメートルほど水面から顔を出して、一三時三十分には一七〇〇ミリメートルも顔を出していた。燃料棒が水面から大きく顔を出せば、燃料棒の被覆管の温度が高くなり、高温のジルカロー(ジルコニウム合金)被覆管が周囲の水蒸気と反応して水素を発生する。その水素がおそらく1号機最上層のオペレーシオンフロアに入り、そこで爆発したということだろう。では、原子炉圧力容器の中で発生した水素が、どのようにしてオペレーシオンフロアに入ったのか？

一気に爆発したのだろうか。

水素爆発を予測できていたか？

この1号機で起きた水素爆発との関係で、大いに気になることがある。おそらく世界じゅうを驚愕させたにちがいない原発建屋の水素爆発が起きたというのに、それに関してどうしようもないコメントを残す学者、研究者が多かった。彼らは即座に、爆発は起きたが、格納容器や圧力容器の健全性は保たれている、と異口同音に断言していた。根拠は何か。「さすがですね、まあ水素爆発は起きましたが、逆に言うと、水素爆発が起きてもびくともしない格納容器を設計する日本の技術がいかに高いかの証明のようなもの」には呆れるばかり

岩波現代文庫

名張毒ブドウ酒殺人事件

江川紹子

— 六八頁の豪華装幀 —

一九六一年三月、三重県と奈良県にまたがる小さな村の懇親会でブドウ酒を飲んだ女性五人が悶死。奥西勝に死刑判決が下された。しかし、村人たちの供述には矛盾が目立ち、唯一の物証である歯型鑑定も疑問だらけだった——。

定価 1,650円(税別)

岩波書店

である。ちなみに、1号機を設計したのは日本ではなくGEだ。

しかし真に気になるのは、あのような水素爆発が起こることを、原子力安全・保安院は、東電は、原発メーカーは、そして何よりも原子力安全委員会の面々は、はたして正しく予測していたのか、である。どうもそのようには見えない。なぜなら、あの日の早朝の五時四四分、「半径一〇〇m圏内の避難」指示が出たが、あれはあくまで圧力が設計圧力の二倍にまで上昇していた1号機格納容器のベント作業に対するもので、けっして水素爆発に対する避難ではなかった。水素爆発はそれこそ「想定外」だったにちがいない。最悪の場合、使用済み核燃料プールが吹き飛ばされたり底が抜けたり、格納容器が破壊したりと、さまざまな悪夢が起こりえた。地震発生後わずか一日で起きたあの水素爆発、まさに結果オーライの水素爆発だったということか？

圧力抑制室の耐震性に問題はなかったか

2号機の爆発がなぜ圧力抑制室の近傍で起きたのかは、たぶん重要な問題だ。爆発したのはやはり水素だろう。記者会見などでは、異音が生じたことと表現されているが、原子炉建屋の地下部分での爆発だから、何かこもった音に聞こえたにちがいない。

水素の発生場所は、当然原子炉圧力容器の中だ。その中で、仮想的な事象に思っていたそれが、じつはそうではなく、あつという間に現実的不安に変わるといふことを、福島原発事故から学んだからだ。最後に、とくにいま気になるのはじめたことを一つ書いておきたい。

メルトダウンした燃料が大量に原子炉圧力容器の下鏡に落ち、ついで下鏡を溶かしながら原子炉圧力容器の底を抜いてしまうという古典的なシナリオは、もともと沸騰水型(BWR)とABWRのものではなく、下鏡に制御棒がない加圧水型(PWR)のものなのかもしれない。沸騰水型の場合は、むしろメルトダウンした燃料と制御棒の関係こそ深刻なのではないかと思いはじめていて、実際現在の福島第一原発1〜3号に関して、この先しばらく注意を向けていなければならぬ大きな問題の一つがそれではないかと思う。

沸騰水型の場合、下鏡には多数の制御棒貫通孔がある。その貫通孔の周囲にCRDスタンプというものが溶接され、さ

高温になったシルカロイ被覆管が水蒸気と反応して水素を発生させた。水素は軽いから、自然に地下に降りてきて、そこに溜まることは考えられない。しかし、水素が地下に降りてくるルートが一つだけある。それは原子炉圧力容器から逃げる安全弁と配管を経由して、圧力抑制室に入るルートである。圧力抑制室が正しく機能していれば、その中で水素が爆発することはない。なぜなら、圧力抑制室には窒素が封入されているからだ。ではどのような場合、水素爆発が起きるだろうか。一つの可能性として、やはり圧力抑制室が激しい地震の揺れによって、圧力抑制室の構造的に脆弱な部位(たとえば、エクスパンション・ベローズやエド風の溶接部)に亀裂が入り、そこから水素が洩れ出して爆発したということではなかったらうか。

BWRの制御棒貫通部の脆弱性

現在も進行している福島第一原発の事故は、きつこいままある恐怖のシナリオを人びとに想起させてつづけていると言っても過言ではないだろう。これまでは反原発に身を置くものだけが雄弁に語り、原発推進派は皮肉な笑いを浮かべながら聞き流していたメルトダウン、ないしはその拡大版であるチヤイナシンドロームのことだ。

私自身もそうした事象がどのように進行するかを、いま真剣に考えている。なぜなら、かつてひどく非現実的だとして

らにそのCRDスタンプに制御棒ハウジングというものが溶接されている。中性子モニター管というものにも、たぶん同種の問題が生じると思う。これらの構造から冷却水が漏出したという事故が、過去に二、三度あったように記憶している。原因は溶接熱影響部の応力腐蝕割れだったように思うが、要するに、これらの溶接部は、分厚くて頑丈そうな下鏡と比較すると、なんと脆弱か、と思わせるを得ない。言いたいのことは、現在1〜3号機の炉内で何が起きているかはほとんど誰にも正確にはわからないと思うが、もし炉内がほぼ空焚き状態で燃料が溶けているとすれば、それが大量に落ちてきて、ハウジングやスタンプの溶接部あたりに堆積し、溶接部を溶かし、そこから冷却材が大量に漏れたり、原子炉圧力容器の機械性が大幅に失われたり、場合によっては制御棒が落下して大穴が開いたりといったことさえ起きるのではないかと思う。

新たな100年に踏み出すため、いま歴史を問う

韓国併合 100年を問う

2冊同時発売
A5判・並製カバー・各400頁

国立歴史民俗博物館蔵

二〇一〇年国際シンポジウム

「思想」特集・関係資料

越前・富田・高岡・宇治・和歌山・徳島・香取・山形・秋田

「韓国併合」とは何であったのか。

「併合」100年を機に未決の諸問題を捉え直し「反響」を呼んだ「思想」特集号を単行本化(2冊、年表を別巻)。さらに日韓の研究者が結集し熱気あふれるシンポジウムの成果を集成する。歴史認識の根本的な転換の模索。

岩波書店