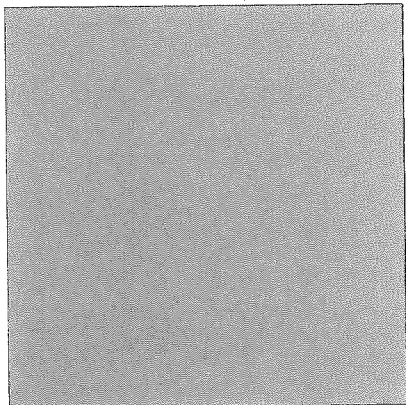


甲第380号証

福島第一原発 1号機冷却
「失敗の本質」

NHKスペシャル『メルトダウン』取材班



講談社現代新書

2443

第4章

届かなかった海水注入

事故発生から12日間、
原子炉に届いた冷却水はほぼゼロだった

原子力関係者に衝撃を与えた1号機注水ゼロ

2016年9月7日。福岡県久留米市内のホテルはどこも珍しく満室だった。

春と秋、年に2回行われる日本原子力学会の大会に参加するため、全国から原子力関係者が、久留米市に集まっていた。

学会では、原子力安全や放射性廃棄物処理、高速炉などの次世代炉開発、核燃料など様々な分野の専門家が研究成果を発表する。その時点の最新の知見が発表されることもあり、取材班にとっては、継続して取材を続ける対象の一つになっている。

会場には報道関係者の姿は多くなかった。2011年9月、事故が起きた年に開催された原子力学会の大会は福岡県北九州市で行われ、多くの在京メディアが駆けつけたが、その熱気がいまは懐かしい。

メディアの取材が少なくなる一方で、原子力関係者は会場に多く詰めかけていた。発表は専門分野ごとに分かれて、同時進行で進む。どの発表を取材するかは、事前の学会のスケジュールを見てある程度決めてあった。

取材班が注目していたプログラムの一つが、国際炉研究開発機構（IRID）による発表だった。テーマは「過酷事故解析コードMAAPによる炉内状況把握に関する研究」。

最新の解析コードを用いて、福島第一原発事故がどのように進展し、どこまで悪化していったのかを分析するものだ。高い放射線に阻まれて、ロボットを用いた原子炉や格納容器の内部調査で得られているデータは限定的で、現時点では事故の進展を探るには解析コードに頼らざるを得ない。一方で、事故後、解析コードの精度は年々高まっており、社会やメディアの関心は低下する一方、原子力関係者からは依然として高い注目を集めている。そのためか、午後4時過ぎから始まった発表は、14ある会場のなかで、2番目に大きな会場で行われることになった。

5年半でがらりと変わった解析結果

東京電力が初めてメルトダウンを起こしたことを公式に認めたのは、事故から2か月以上経った2011年5月15日。今から見ると解析結果は楽観的といえるものだった。当時、東京電力は、解析コードMAAPを用いて1号機の炉心状態をシミュレーションし、「解析及びプラントパラメータ（原子炉圧力容器周辺温度）によれば、炉心は大幅に損傷しているが、所定の装荷位置から下に移動・落下し、大部分はその位置付近で安定的に冷却できていると考え」と結論づけた。

かみ砕いていえば「1号機はメルトダウン（炉心溶融）を起こしたものの、圧力容器の

底が溶かされて燃料が容器の底を突き抜けるメルトスルーは、ごく限定的で、核燃料デブリは原子炉内にほとんどどまっている」とされていたのだ。しかし、いまやそう考えている専門家はほとんどいない。いまでは大量のメルトスルーが起きたことは、もはや専門家間で共通の認識であり、関心事は、格納容器に溶け落ちたデブリの広がり、格納容器そのものを溶かしているかどうか、という点に移っている。

素粒子を利用し、原子炉内部をいわば透視する「ミュオン技術」を用いた調査でも、原子炉内にあった核燃料はすべて溶け落ち、原子炉内にはほとんど残っていないという結果となった。これは、その後、改良が重ねられてきたM A A Pやエネルギー総合工学研究所が所有するS A M P S O Nといった解析コードでも同様の結果が出ていた。

今回の発表の特徴は、これまでの「どれだけ核燃料が溶けたか」に主眼を置いたものではなく、「どれだけ原子炉に水が入っていたか」という点に注目したことだ。その結果は、関係者に衝撃を与えた。

「3月23日まで1号機の原子炉に対して冷却に寄与する注水は、ほぼゼロだった」

事故当時に計測された、1号機の原子炉や格納容器の圧力に関するパラメーターを解析

によって再現するためには、原子炉内への注水量を「ほぼゼロ」に設定しないと再現ができないことから、結論づけられたものだ。

東京電力は1号機の注水量が十分でないことに気づき、注水ルートを変更したのが事故発生から12日経った3月23日のことだ。それまでは、1号機の原子炉冷却に寄与する注水はほぼゼロだったというのだ。

会場はざわついていた。詰めかけた関係者の中で、最初に質問したのは全国の電力会社の原子力分野の安全対策を監視・指導する立場にある原子力安全推進協会（J A N S I）の幹部だ。「事故から5年以上たつて、初めて聞いた話だ。いまだにこんな話が出てくるなんて……」発言には明らかに不満が込められていた。事故から5年以上経過しても次々と出てくる新たな事実。最新の解析結果の発表は事故の真相の検証はいまだ過半ばであることを物語っていた。

1号機の海水注入騒動の顛末

吉田昌郎所長の事故対応をめぐって、繰り返し語られるのが、1号機への海水注入についての判断である。官邸サイドから中断の要請を受けながらも、命令を無視し、注水を継続したその判断は「英断」と評されてきた。

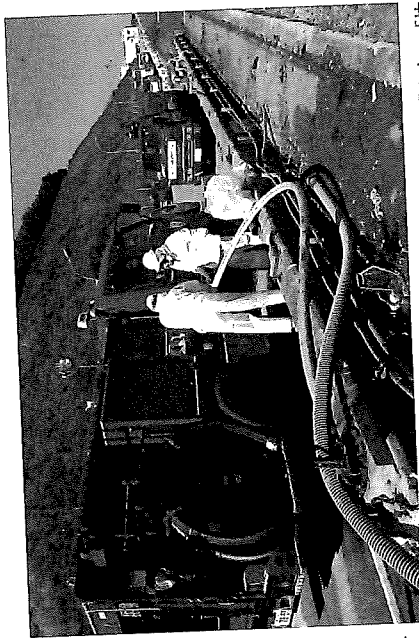
騒動が起きたのは、事故発生から2日目を迎える3月12日。午後3時36分に1号機が水素爆発した後、吉田たちは、全力をあげて海水注入の準備を進めていた。高い線量の瓦礫が散乱するなか、自衛消防隊を中心に協力企業の応援を得て、津波によって海水がたまっていた3号機のタービン建屋の海側にある逆洗弁ピットを給水源として、1号機との間に、所内の消防車と自衛隊の消防車2台の計3台を配置、消防ホースを長々と敷設する作業を進めて、ようやく注水ラインを作り上げた。

同じ頃、事故対応の最高指令本部・総理大臣官邸では、1号機に対し海水による原子炉への注水を行う是非についての議論が行われていた。中心となったのは、総理大臣の菅直人、原子力安全委員長の前田孝、そして東京電力を代表して官邸対応を担っていた武蔵野工業（元原子力部門副社長）の3名。しばしば、菅が再臨界を恐れ、海水注入を止めさせたと語られる局面である。

当時、どのような議論が行われていたのか。事故後の2011年5月、専門家として議論に参加していた班目にロングインタビューをする機会があった。

班目は取材に対し、こう答えている。

「海水を入れたら、原子炉に塩がどっどったまってしまい、冷えにくくなり、圧力容器の腐食という事態も出てくる。〔東京電力から〕『海水を入れるしかない』と言われて、『う



消防注水の訓練をする福島第一原発所員。しかし、原子炉に届かない「抜け道」があれば、期待される効果は望めない(©東京電力)

っ!』と思ったんですけど、でも海水しかなければ海水を入れるべきだと言っていると思います」

班目はもともと事故が発生したときに核燃料を冷やす際の、熱の挙動を分析する“熱流動”分野の専門家だ。班目が懸念したのは、海水注入によって塩分が原子炉内にたまることで核燃料の冷却に悪影響を及ぼすことだった。一方、海水注入に伴う再臨界の可能性については「臨界、再臨界はあり得ないんですよ。むしろ海水より真水を入れたほうが臨界する可能性が高い。ただ、真水を入れたって臨界の可能性は極めて低い。ましてや不純物の多い海水を入れたから、臨界、再臨界を起こすなんて、私が言うはずがない。そこまで私は無知じゃない」と確信を持って答えていた。

一方、菅も政府事故調の聞き取りに対し、「再臨界の懸念」については「海水（注水）と再臨界の問題は考え方は全然別」と答えている。

「入れる水〔真水〕であっても海水であっても、ホウ酸か何かを入れれば再臨界の可能性は止められるわけですから」

そして海水注入には1時間半あるいは2時間、準備に時間がかかると東京電力から説明を受け、「その時間があるなら、例えばホウ酸を数回入れられるのか、とりあえずは海水を入れておいた後に入れるのか、その必要はないのかということの判断をしてくれという趣旨だった」と述べ、「海水注入にあつては再臨界の可能性の有無を検討すべし」と指示はしていないと述べている。

しかし、武黒ら東京電力の幹部の受け止めは異なっていた。「海水注入について総理の了解が得られていない」と武黒は菅の意向を受け止め、官邸から福島第一原発の吉田に電話を入れたのだ。

取材班が入手した未公開の国会事故調による調書によると、吉田は、海水注入を巡る、武黒との緊迫のやりとりを詳細に語っている。

武黒「おまえ、海水注入は」

吉田「やってますよ」



海水注入開始に際し、菅直人総理大臣の了解が得られていないとして、吉田昌郎所長に海水注入停止を働きかけた武黒一郎フェロー（©NHK）

武黒「えっ！」

吉田「もう始まっていますから」

武黒「おいおい、やってんのか？ 止める」

吉田「何ですか？」

武黒「おまえ、うるせえ。官邸が、もうグジグジ言ってるんだよ！」

吉田「何言ってるんですか」

吉田は武黒に反駁したが、電話は一方的に切られたという。水素爆発後、高い放射線量の中で、自衛消防隊や協力企業の作業員らが被曝を伴いながら2時間近くかけて準備を行い、ようやく1号機の原子炉への注水を開始した直後の出来事である。

武黒からの海水注入中止の依頼。政府の原子力災害対策本部の最高責任者である総理の意向と聞いては、表向きは了解しないわけにはいか

ない。

ここで吉田は、とつさに一芝居打った。消防注水を担当していた部下の防災班長を傍らに呼び、小声で「中止命令はするけれども、絶対に中止してはダメだ」という指示をした後、本店には「海水注入を中断する」という報告をテレビ会議を通じて行った。

防災班長は吉田の指示に従い、密かに注水を続けた。この一連の1号機への海水注入を巡るやりとりが、吉田が官邸や東電本店の意向に逆らい海水注入を継続、結果として1号機の事態の悪化を食い止めた、と英雄視されている場面である。

現場の指揮官としての吉田の判断は極めて的確で、誰からも称えられてしかるべきであろう。しかし、原子力学会でIRIDが発表した最新の解析では、実際にこのときを行った注水のうち原子炉に届いていた量は「ほぼゼロ」だったという。

吉田の「英断」は1号機の冷却にほとんど寄与していなかった。

海水はどこに消えたのか？

事故発生からの12日間、1号機の原子炉には水がほぼ入っていないという重い事実。消防車によって大量に注入された海水はどこに消えたのだろうか。また、この重大な事実にも、原子力関係者ですら、事故後5年以上も気づかなかつたのはなぜだろうか。

実は、全電源喪失によって、唯一の冷却手段となった消防注水が原子炉冷却にどれだけ貢献したのか、国では、これまで十分な検証を行ってこなかった。

国費を投じ、多くの専門家を集めて行われたはずだった公的な二つの事故調査委員会。政府事故調査委員会、国会事故調査委員会においても、消防注水の有効性についてはほとんど議論されていない。

2011年5月24日の閣議決定によって発足した政府事故調。検察官などを事務局員とし、関係者772名に聴取を実施、総聴取時間は1479時間にもなるなど緻密な調査を実施した。

実は、2011年7月29日、Jヴィレッジ（福島県楢葉町・広野町）で行われた吉田所長への2回目の聞き取りの中で、吉田自らが消防注水の有効性に疑義を呈していた。

「とにかくFP（消火）系というのは、ご存じのように消火系配管ですから、中でいろいろ分岐しているんです。（中略）どうしてもバイパスフロ（他の配管に水が流れること）が出てくる可能性があつて、そうすると、入っている水が全部炉に入っているかどうかわかりません」

吉田のこうした証言がありながら、調査委員会は、海水注入の有効性にはついで疑念を抱くことはなかった。政府事故調が1号機への海水注入を巡る問題で重きを置いていたの

は、事故の進展を科学的に分析することではなく、海水注入に関する意思決定のあり方だったのだ。

その後、2011年12月8日に発足した国会事故調は、東京電力の会長や社長をはじめとする現役の経営幹部や、首相官邸での政府対応の責任者でもあった元副社長の武黒に、1号機への海水注入を巡る事故対応について質疑を行っている。

しかし、1号機の原子炉に実際どれくらい水が入っていたかを検証するための、技術的な質疑は皆無だった。事故対応の当事者たちに投げかけられた質問で共通するのは、3月12日の水素爆発後に海水注入を開始する際に、福島第一原発で事故対応にあたった吉田をはじめとする東電技術者たちの判断と官邸サイトの意思に乖離はあったのかどうか、そして官邸や東電本店の意向は現場にどのように伝えられたかという論点だった。

実は、国会事故調が発足した段階で、1号機の原子炉への注水量が不十分になっていたことを類推することは可能だった。消防注水が有効に機能しなかったことは、事故の進展からも窺えた。事故発生から10日目を迎えた2011年3月20日、1号機の計器がようやく復旧し、原子炉の温度を測定することが初めて可能になった。

東京電力が1号機で原子炉の温度を測定したところ、400度を超える高温であることが判明。注水が十分に原子炉に届いていないと気づいた現場は、急遽注水のルートを大き

＜参考＞ AM監視⇒消防ポンプ流量計の指示値等※

年月日	福島第一原子力発電所 1号機 注水量(1日あたり) (海水)	福島第一原子力発電所 1号機 総量(海水)	累積(淡水)
平成23年3月17日	約 294 KL	約 1,158 KL	
平成23年3月18日	約 475 KL	約 1,633 KL	
平成23年3月19日	約 475 KL	約 2,109 KL	
平成23年3月20日	約 1,020 KL	約 3,129 KL	口 福島第一 仁 福島第二
平成23年3月21日	約 1,317 KL	約 4,446 KL	仁 福島第二
平成23年3月22日	約 1,593 KL	約 6,039 KL	仁 福島第二
平成23年3月23日	約 799 KL	約 6,839 KL	仁 福島第二
平成23年3月24日	約 226 KL	約 7,065 KL	仁 福島第二

年月日	福島第一原子力発電所 1号機 注水量(1日あたり) (海水)	福島第一原子力発電所 3号機 注水量(1日あたり) (海水)	2つの値に大幅な乖離がある
平成23年3月17日	約 294 KL	約 60 KL	
平成23年3月18日	約 475 KL	約 60 KL	
平成23年3月19日	約 449 KL	約 60 KL	
平成23年3月20日	約 48 KL	約 2,130 KL	
平成23年3月21日	約 38 KL	約 2,167 KL	
平成23年3月22日	約 42 KL	約 2,209 KL	
平成23年3月23日	約 301 KL	約 2,510 KL	
平成23年3月24日	約 226 KL	約 2,736 KL	
平成23年3月25日	約 106 KL	約 2,842 KL	
平成23年3月26日	約 173 KL	約 3,015 KL	
合計(5月15日迄の値)		約 11,183 KL	

く変更するための検討を開始。そして事故発生から13日目の3月23日に注水方法を変更したことにより、1号機原子炉への注水は有効に機能しなかったことが窺えるデ

1タだった。これを裏付ける資料も公表されていた。2011年9月9日に公表された「福島第一原子力発電所1〜3号機 原子炉注入流量について」と題された資料である。1号機の部分を見ると、不可解な数値が記録されている。消防車のポンプの吐出流量と実際に原子炉に注ぎ込まれた注水量に乖離が生じ

く変更するための検討を開始。そして事故発生から13日目の3月23日に注水方法を変更したことにより、1号機原子炉への注水は有効に機能しなかったことが窺えるデ1タだった。これを裏付ける資料も公表されていた。2011年9月9日に公表された「福島第一原子力発電所1〜3号機 原子炉注入流量について」と題された資料である。1号機の部分を見ると、不可解な数値が記録されている。消防車のポンプの吐出流量と実際に原子炉に注ぎ込まれた注水量に乖離が生じ

ているのだ。171ページの図は、3月19日から3月23日までの5日間の1号機の、消防ポンプ流量計が記録した吐出流量と原子炉近くに設置された流量計が記録した注水量である。

消防車側からの吐出流量は19日から日ごとに475トン、1020トン、1317トン、1593トン、799トンと大量の水が注ぎ込まれていた。これらの水がすべて原子炉に入っていれば核燃料を十分に冷やすことが可能な流量だった。一方、中央制御室で計測された流量は19日から449トン、48トン、38トン、42トン、301トンと、消防車からの吐出流量と比較すると、原子炉の近くでの流量が激減していることが分かる。

原子力に関する技術的な調査能力を持つ専門家なら、この数値を見ただけで「1号機に水が十分に入っていない」可能性に気づいていたはずだ。

しかし、「専門家」を集めたはずの国会事故調は、政府事故調と同様に、消防注水の有効性を微塵も疑わなかった。

結局、吉田の海水注人継続という「英断」を重視した国会事故調の最終報告書では、「政府の意思決定の混乱と、これを受けた武黒フェローによる海水注人見合わせについての指示は、海水注人の結果に対して何ら意味を持つものではなかった」と結論づけている。

しかし、事故進展の観点から考察すると、「何ら意味を持つものではなかった」という言葉は、「1号機への海水注人は、3月23日に注水ルートを変更し、原子炉に十分に水が

届くようになるまで、何ら意味を持つものではなかった」という事実のために使われるべきであろう。

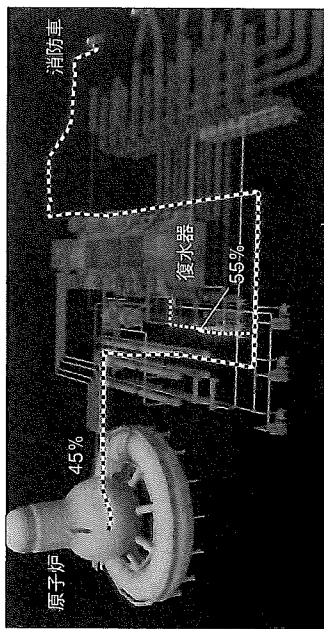
事故発生から2年 浮かび上がった消防注水の「抜け道」

福島第一原発事故対応の「切り札」とされた消防車による外部からの注水。それが原子炉へ向かう途中で抜け道があり、十分に届いていなかった。その可能性を最初に社会に示したのは、取材班だった。

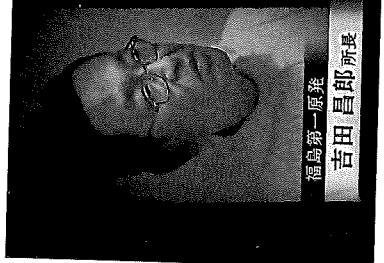
取材班は2011年の事故発生直後から消防車による注水にいくつかの疑問を持っていた。2011年9月9日に発表された消防車からの吐出流量と原子炉近傍の流量が異なるという矛盾。さらに、本来空っぽであるはずの3号機の復水器が満水であるという東京電力からの不可思議な発表。

本当に消防車による注水は原子炉に十分に届いていたのか。本格的な検証を始めたのは2012年秋頃からだった。当時、後に公表される「吉田調書」はまだ未公開だった。取材班は、事故当時に公開されていたテレビ会議を詳細に読み解くことを試みる。

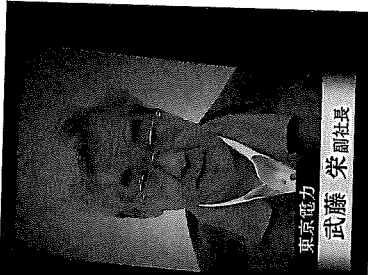
すると3号機への海水注人が始まった後の3月14日午前3時36分、原子力部門の最高責任者で副社長だった武藤栄と吉田が、3号機の消防注水の有効性を疑い会話を交わしてい



3号機では、消防車による注水量の55%が復水器、45%が原子炉に流れ込んだ。SAMPSONのシミュレーションによれば、消防注水のうち75%の水が原子炉に入っているとすれば、メルトダウンを防げた可能性があった(©NHK)



福島第一原発
吉田昌郎所長



東京電力
武藤栄副社長

取材班は、武藤栄副社長と吉田昌郎所長の、海水注入を巡る不可解な会話を注目した(©NHK)

です。ね」

武藤「バイパスフロって、どっか横抜けてるってこと？」

吉田「そう、そう、そう、そう、そう。うん」

では、消防注水の抜け道は、どこにどのようなメカニズムで生じるのか。そして原子炉に届く水の量はどの程度なのか。取材班は独自に入手した3号機の配管計装線図(P&ID)という図面をもとに専門家や原発メーカーIOBと徹底的に分析した。すると、消防車から原子炉につながる1本のルートに注水の抜け道が浮かび上がった。その先には、満水だった復水器があった。

前著『福島第一原発事故7つの謎』でこの問題を論じたので、本書では詳細な説明は省略するが、この抜け道には、復水器から冷却水を原

たことがわかった。

武藤「400t近くもうぶち込んでいるってことかな？」

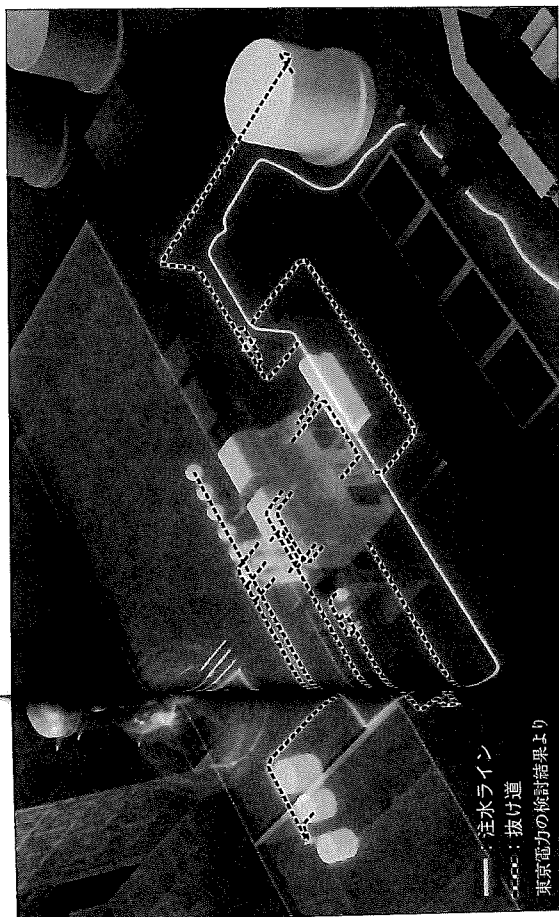
吉田「ええ、まあ途中で1時間位止まってるから」

武藤「ということは、あれだな、ベッセル「原子炉圧力容器」満水になってもいくらかの量入れてるってことだね」

吉田「そうなんですよ」

武藤「ちゅうことは何なの。何が起きてんだ。その溢水しているってことか、どっから」

吉田「うん、だからこれやっぱ、1号機と同じように炉水位が上がってませんから、注入してもね。ということは、どっかでバイパスフロがある可能性が高いということ



注水ライン
抜け道
東京電力の検討結果より

1号機の注水ラインと「抜け道」。東京電力によれば、「抜け道」は10本に及び、注水は2011年3月23日まではほとんど原子炉には届いていなかった（©NHK）

ンに陥るのか、を左右する極めて重要なオペレーションである。この問題を放置できないのは当然だ。

一方、注水の「抜け道」という弱点に東京電力が気づいているのであれば、他の電力事業者や世界の原子力関係者にいち早くこの情報を公開し、問題意識を共有すべきではないのか。

2013年1月、取材班は、ある電力会社で安全対策を統括する人物と、事故対応の際の消防注水への信頼性について、意見交換をした。取材班が福島第一原発の消防注水を行った際の抜け道が存在する可能性に言及すると、その人物は「えっ！」と驚きの反応を見せた。

安全対策を担う他社の幹部ですら、事故から2年近くが経過した時期になっても、消防注水の致命的な弱点を知らなかったのである。原子力学会で原子力

子炉に送り込むための「低圧復水ポンプ」がある。このポンプが電源喪失により動かなくなったことで、ポンプに流れ込む水の流れを封じ込める「封水」という仕組みが動かなくなり、原子炉へ注ぎ込まれる海水が、復水器に向かう配管に横抜けしてしまったのだ（180ページの図参照）。

検証を続けていた東京電力

実は、こうした「抜け道」は3号機だけではなく、1号機にも存在していた。しかもその漏洩量は、3号機をはるかに上回るものだった。

消防注水の「抜け道」については、他ならぬ事故の当事者である東

京電力もかなり早い段階から認識しており、柏崎刈羽原発の再稼働に向けて対策を進めていた。消防注水は事故対応において、原子炉を救うことができるか、あるいはマルチダウ

安全推進協会の幹部が1号機の「注水ゼロ」に響きを隠さなかったことといわば同じ状況だった。

2013年12月になって、東京電力は事故の教訓を広く共有するため、技術的な分析「未解明事項」を発表した。報告によると、1号機には10本、2号機・3号機にはそれぞれ4本の「抜け道」が存在するというのだ。2011年3月23日までほぼゼロだった1号機への注水量。その原因はこの10本の抜け道にあった。

1号機 10本の「抜け道」の検証

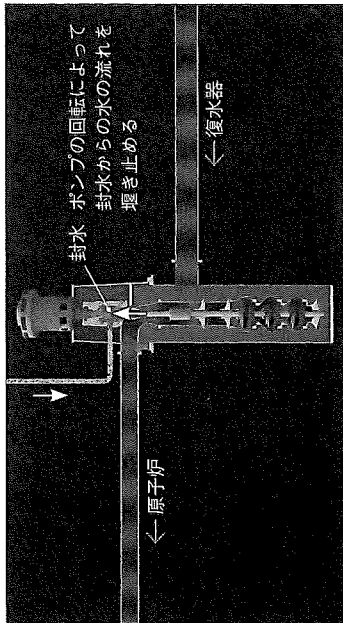
それにしても、なぜ1号機だけ他よりも多い10本の抜け道が存在するのか。取材班は、原発の構造に詳しい専門家や、原発メーカーO Bとともに改めてそのルートを検証することにした。すると、アメリカの基準で言うとBWR-3と位置づけられる1号機とその後改良型BWR-4である2、3号機とは機器の配置やレイアウトが異なるため、1号機には2号機や3号機にはない抜け道が存在することがわかってきた。

その一つが復水脱塩装置とよばれる設備を経由して水が抜けていくルートだ。水の中に塩分などの不純物が含まれていると原子炉などの設備に悪影響を与える恐れがある。復水脱塩装置はそうした不純物が原子炉に流入しないように設けられている。

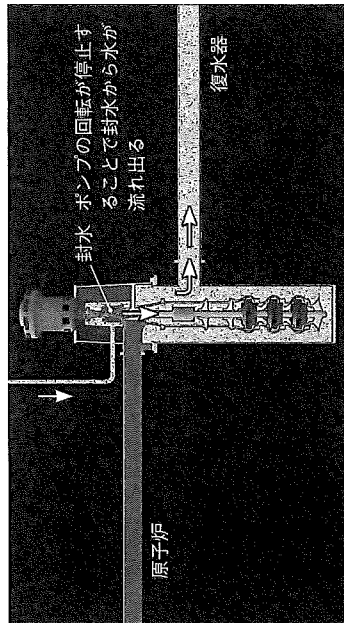
この復水脱塩装置によって塩分が取り除かれた水はその後多くの設備に供給されているため、そこが「抜け道」になっているというのが東京電力の見解だった。原子炉の近くにある再循環ポンプ、給水ポンプ、低圧ヒータのドレンポンプ、という重要な3つのポンプがある。ここから蒸気や冷却水が漏れると、放射性物質の漏洩につながりかねないため、入念な対策がとられている。その仕組みは3号機で取材班が読み解いた「封水」と呼ばれる仕組みを同じように採用している(次ページ図参照)。

3号機同様、1号機でも、電源が失われポンプの回転が止まると、この「封水」の機構が働かなくなり、水が別の場所へ流れ込んでしまうのだ。さらに、ポンプだけでなく、東京電力の分析では1号機は復水脱塩装置を経由し、脱塩塔と呼ばれる冷却水に含まれるイオン状の不純物を除去する装置にも流れ込んでいるという。脱塩塔は直径2メートルを超える大型の設備で、原子炉建屋の1階部分に6個並んでいる。これも1号機特有の抜け道だ。東京電力によると、これ以外にも、冷却水が本来向かうはずのない、全く別の建屋につながる「抜け道」も1号機には存在すると認めている。原子炉建屋に隣接する廃棄物処理建屋だ。本来原子炉に向かうはずの水は、全く別の建屋にまで漏れていたのだ(183ページコラム参照)。

「封水」の仕組み



低圧復水ポンプ（電源駆動時）：ポンプが回転する際に発生する水の圧力によって、ポンプに流れ込む水を封じる構造になっている。通常であれば、「封水」部分に入った水は、ポンプの羽根が回転する圧力によって堰き止められる。左右の配管は復水器と原子炉を結ぶライン、上から下のラインは封水の仕組みが有効に機能するまでの間、外部から冷却水を送り込む「配管」1。白色の矢印は消防車からの水を送る意味する



低圧復水ポンプ（電源喪失時）：ポンプが停止すると、ポンプが回転する際に発生する水の圧力がなくなる。その結果、冷却用の細い配管を通じて「封水」部分に入った水は、ポンプ部分を素通りして復水器へと向かうことになる。電源喪失を想定しないことによる致命的な落とし穴だった
(©NHK)

衝撃の注水量 1秒あたり0.075リットル

では、これだけの抜け道が存在する1号機の原子炉にはいったいどれだけの量の水が入っていたのか？ その詳細を知るには最新の解析コードによる分析が必要だった。

福島第一原発の1号機、2号機、3号機にいつどれだけ水が入り、どのように核燃料はメルトダウンしていったのか、最新の解析コードで分析するBSAF (Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station 福島第一原発事故ベンチマーク解析) とよばれる国際共同プロジェクトが進んでいる。事故の翌年2012年から経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)が始めたこの取り組みは、世界各国の原子力研究機関や政府機関がそれぞれ所有する過酷事故解析コードを改良しながら、福島第一原発事故の進展と現在の状況を分析する世界最先端の研究だ。BSAFに参加する国は徐々に増え、現在11カ国(カナダ、中華人民共和国、フィンランド、フランス、ドイツ、日本、韓国、ロシア連邦、スペイン、スイス、アメリカ)になった。

その運営を担う機関が東京・港区西新橋にある。エネルギー総合工学研究所。電力会社や原発メーカーのOBに加え、外国人研究者が名を連ねる日本でも有数の研究機関だ。同研究所原子力工学センターの副センター長の内藤正則は、福島原発事故前から日本独自の解析コードSAMPSONを開発し、BSAFプロジェクトの中心的役割を担う人物だ。



空気作動弁がもたらした意外な「抜け道」

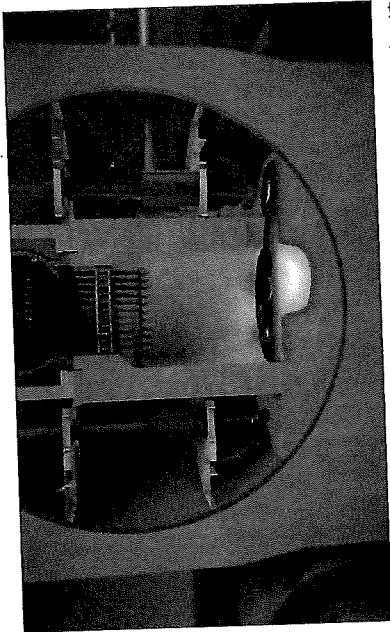
1号機には意外な「抜け道」が存在した。水が本采向かうはずのない、原子炉建屋に隣接する廃棄物処理建屋へ向かう漏洩ルートだ。これは、放射性物質に汚染されたいわゆる廃液を廃棄物処理建屋に送り、処理するために設けられている系統である。廃液の流れをコントロールするため、配管の途中には空気で作動する弁が設置されており、この弁が閉まっている限りは消防注水の抜け道にはならぬ。

しかし、ここでも全電源喪失が落とし穴になった。全電源喪失によってポンプのモーターが止まり、空気作動弁にも空気が供給できなくなってしまうのだ。その結果、水の流入を止める弁が開いてしまい「抜け道」が生まれてしまった。このルートを通じて廃棄物処理建屋の中にある、廃液中和ポンプと呼ばれる機器に流れ込んでいたというのが東京電力の見解だった。

この電源喪失時に開いてしまう空気作動弁と多数の機器が存在する廃棄物処理建屋に流れ込むルートに取材班は注目した。他には「抜け道」は存在しないのか。独自に入手した廃棄物処理建屋の配管計装線図をもとに、原発メーカーOBや専門家とともにこのルートを詳細に検討した。

すると、廃液中和ポンプだけでなく、空気作動弁によって「抜け道」を防いでいるルートが廃棄物処理建屋の中で少なくとも「4つ」新たに見つかった。床ドレン収集ポンプ（排水を処理するために一時的に貯蔵する槽から水を抜くためのポンプ）につながる3/4インチの配管、HCWサ

184ページに続く→



1号機では、溶け落ちた核燃料が原子炉の底を突き破り格納容器の床に達した後、崩壊熱による高温状態が維持されることで床のココンクリートも溶かし続けるMCCI（溶融炉心ココンクリート相互作用）が起きたとされる（©NHK）

2017年2月、NHKでは内藤を含めた専門家を交え、1号機への注水など事故の進展に関する分析を行った。内藤は、BSAFの取り組みを通して各国の研究機関がシミュレーションから導き出した「現時点で最も確からしい」としている最新の注水量を告げた。

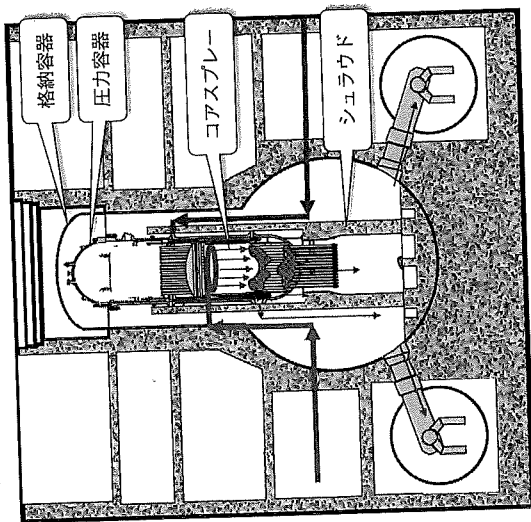
「1秒あたり、0.07〜0.075リットル。ほとんど炉心に入っていないことと同じです」

国際機関が検証している最新の注水量。多く見積もっても、1分あたり1.5リットルペットボトルの3本分程度しかないわずかな注水量に専門家たちも衝撃を受けた。5年以上にわたって事故の検証を続けてきた内藤が提示したのは、この章の冒頭

ンプポンプ(床に設置されたサンピットの水位が上昇した際に、廃棄物処理建屋に水を送るポンプ)AとBにつながる1/2インチの配管、そしてフィルタスラッジサージタンク(放射性廃棄物であるスラッジを貯蔵するタンク)につながる4インチの配管だ。

これらはすべて東京電力が「抜け道」として認めている廃液中和ポンプへの流入ルートと同様に、空気作動弁によって水を止める系統になっている。この経路の空気作動弁も電源喪失時に開いてしまう可能性はないのか。バルブのメーカーや専門家が名を連ねる日本バルブ工業会のJIS規格の審査委員長も務める専門家、刑部真弘(東京海洋大学教授)は「見逃せないルート」だとしたうえで、「同様の系統にある空気作動弁も全電源喪失時に開いてしまう可能性はある」と見解を述べた。

「4インチもの大きな配管が抜け道になっているとすれば、原子炉にほとんど水が届かなかった可能性がある」ともともと消防車から復水系につながる配管は3インチ程度しか直径がないところもあり、メルトダウンした後もある程度の圧力を有する原子炉に対し、廃棄物処理建屋内の大気圧の設備はそれだけで水が流れ込みやすい。そのルートの配管の直径が大きければ、その「抜け道」は水のいわばメインルートになってしまふ恐れがあるのだ。



1号機では原子炉を覆う巨大な構造物シュラウドが1000℃以上の高温で変形し、コアスプレーが有効に機能しなかった可能性が指摘されている(東京電力資料をもとに作成)

でIRRIDが原子力学会で発表した数値より具体性を持った数値だった。

さらに量の少なさに加え、1号機特有の注水方法がより原子炉の冷却には厳しい状況を生んでいたと内藤は指摘する。

1号機では、2号機・3号機で行われていた原子炉の下部を通じて水を注ぐ給水系ではなく、核燃料の真上から水を注ぐ「コアスプレー」と呼ばれる注水ルートで水を注いでいた。内藤はここから水を注いだ場合に十分に原子炉全体に水が届くか疑問視していた。

内径4・8メートルの原子炉の中心部まで水を注ぐためには、十分な吐出圧力や水を注ぐためのノズルの角度など、整えなくてはならない条件がいくつかある。

コアスプレーは十分な量と吐出圧力があれば核燃料に直接水をかけ冷却できるメリットがある一方で、圧力が低ければ、原子炉の中心部分には届かないため機能しない。原子炉の構造に詳しい東芝の元原子力部門の技師長・宮野廣（法政大学客員教授）は、「1秒あたり、0・07〜0・075リットルの量では、水は壁をつたってちよろちよろ流れる感じにしかならない」と強調した。

内藤は「わずかな注水では、真ん中に絶対届かない」と断言する。

彼は、コアスプレーが効果を発揮するための研究に深く関わってきただけに、その発言には重みがあった。

さらに悪い条件が重なっている可能性が指摘されている。SAMPSONの最新の解析では、原子炉の内側で核燃料を覆うシユラウドという巨大な構造物は事故の進展の際に1000度を超える温度になったと推定されている。この試算が正しいとすると、シユラウドとそれを支える構造物は溶けることはないものの、熱で柔らかくなり、重さで下の方向にずれていく可能性が高いという。

「そうならば、シユラウドを貫通する形で原子炉中心部につながっているコアスプレーの

配管も、ゆがんでつぶされるような形になって細くなる、あるいは閉塞してしまいう可能性もある。そうすると本当に水が入らなくなる」

内藤の指摘で1号機の注水量は極めて少なく、より危険な状態に陥っていた可能性が浮かび上がった。

遅すぎた注水開始生み出された大量の核燃料デブリ

しかしながら、1号機の注水ルートに「抜け道」がなければメルトダウンを防ぐことができたのか？ 答えはNOだ。吉田が宮邸の武黒からの指示を拒否し、注水を継続していた局面は3月12日午後7時過ぎのこと。しかし、SAMPSONによる最新の解析によると、1号機のメルトダウンはこの24時間前から始まっており、消防車による注水が始まった時点では、核燃料はすべて溶け落ち、原子炉の中には核燃料は全く残っていなかったと、推測されているのだ。

注水の遅れは事故の進展や廃炉にどのような影響を与えたのか。内藤は「MCCIの進展に関してはこの注水量が非常に重要になる」と口にした。MCCI (Molten Core Concrete Interaction) は「溶融炉心コンクリート相互作用」と呼ばれ、溶け落ちた核燃料が原子炉の底を突き破り格納容器の床に達した後、崩壊熱による高温状態が維持されること

で床のコンクリートを溶かし続ける事態を指す。

SAMPSONによる解析では、MCCIが始まったのは3月12日午前2時。1号機の原子炉の真下の格納容器の床にはサンプピットと呼ばれる深さ1.2メートルのくぼみがあり、そこに溶け落ちた高温の核燃料が流れ込むことで、MCCIが始まった。

それから13時間後。吉田が注水継続を判断した3月12日の午後7時過ぎには、侵食はおよそ2.1メートルまで達していたと推定される。

当時の消防車からの吐出量は1時間あたりおよそ60トン。東京電力の1号機事故時運転操作手順書（シビアアクシデント）によれば、この時点での崩壊熱に対して必要な注水量は、15トンとされている。つまり消防車は必要量の4倍の水を配管に注ぎ込んでいたのである。この水が、原子炉、あるいは格納容器の床面にある溶け落ちた核燃料に確実に届いていれば、コンクリートの侵食は十分に止まるはずだった。

しかし、消防車から注ぎ込まれた大量の水は、途中で「抜け道」などに流れ込んだことで、原子炉にたどり着いた水は「ほぼゼロ」。コンクリートの侵食は止まることなく、3月23日午前2時半には深さは3.0メートルに達した。

その結果、もともとあった核燃料と原子炉の構造物、コンクリートが混ざり合い、「デブリ」と呼ばれる塊になった。1号機のデブリの量はおよそ279トン。もともとのウラ

ンの量69トンに比べ4倍以上の量となった。

日本原子力学会で福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の委員長を務める宮野は、大量に発生したデブリが、今後の廃炉作業の大きな障害となると憂慮する。

「279トンつても凄いな量ですよ。しかも核燃料とコンクリートが入り混じって格納容器にこびりついている。取り出すためにはデブリを削る必要がありますが、削り出しをすると、デブリを保管するための貯蔵容器や施設が必要になっていく。本当に削り出して保管するのがいいのか、それとも、削らずそのまま塊で保管するのがいいのかって、そういう問題になっていく。保管場所や処分の方法も考えなければいけない」

内藤が続ける。

「当時の状況では厳しいでしょうけど、いま振り返ってみればもっと早く対応ができなかったのかと悔やまれますね。2011年3月23日、1号機の注水ルートを変えたことで原子炉に十分に水が入るようになり、1号機のMCCIは止まりました。では、あと10日早く対応していれば、コリウム（溶け落ちた核燃料などの炉心溶融物）によるMCCIの侵食の量は少なく済んだ。少ないです、ものすごい……」

廃炉を成し遂げる道に立ち足はかかる、1号機格納容器の底にある大量のデブリの取り出し作業。消防注水の抜け道が存在し、MCCIの侵食を食い止められなかったことは、今

後長く続く廃炉への道の厳しい状況を生み出してしまったのだ。

190

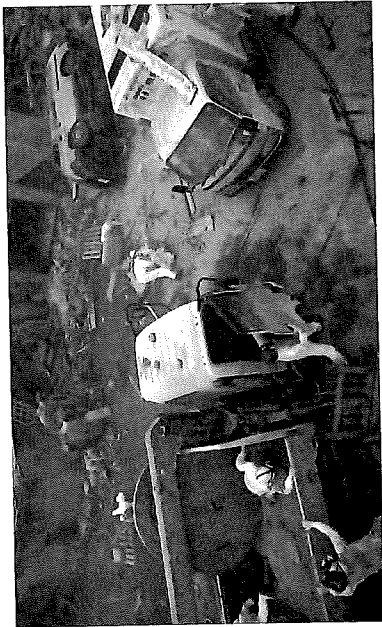
MCCIが生み出した大量の水素は何をもたらしたのか

1号機の注水ルートの「抜け道」は事故の悪化を食い止めることができず、大量のデブリを生み出しただけではなかった。実はMCCIを起こすことでもう一つの深刻な事態をもたらしていた。それは、水素の大量発生だ。原子炉建屋に蓄積した水素は、1号機と3号機、4号機で爆発を引き起こした。

わけでも1号機の爆発の規模はすさまじかった。日立GEニュークリア・エナジィの河合秀郎は、免震棟の復旧班に依頼され、バッテリーを受け取るために、福島第一原発の南に20キロ離れたドヴィレツジまで移動していたが、爆音は、そこまで響き渡ったという。

「すさまじい音が聞こえたので驚きました。福島第一原発のある北方面から音が聞こえてきたので、相当大変な状態になっているんじゃないかというふうに思いました」

爆発をもたらした水素の発生源は、これまで核燃料の被覆管の材料の一つであるジルコニウムが高温となり水蒸気と反応することで生まれるものが主だと考えられてきた。しかし、実は、メルトダウンした核燃料が床のコンクリートを溶解するMCCIによって発生する水素の方が、核燃料のジルコニウムが水蒸気と反応して生まれるよりも大量であるこ



非常用電源車のケーブル接続も完了、機能停止した冷却系が復活する寸前、1号機は水素爆発し、事態は急速に悪化していく(実録ドラマ)
(©NHK)

とが最新のSAMPSONの解析から分かってきたのだ。

1号機の水素発生量を時間ごとに細かく見てみると、原子炉から核燃料が溶け落ちるメルトスルーが起こるまでの水素発生量は200キログラム強。一方、メルトスルーの後、MCCIが始まってからの水素発生量は急激に増加、水素爆発が起きる3月12日午後3時36分までに100キログラム強、その後、3月14日にはさらに500キログラム以上増えて合計800キログラムを超える量に達したとみられている。1号機で発生した水素は、MCCIによって発生したものが、3月12日から23日までの間、7割以上を占めていたのだ。

誰も見抜けなかった注水ゼロ。

吉田や東電社員たちが命を賭して進めた消防注水。当時、1号機の事態の悪化は食い止められたと多くの人は思った。

1号機への海水注人が始まったあとに行われた、3月12日午後8時41分から始まった記者会見で、官房長官の枝野幸男はこう発言している。

「海水によって容器を満たすというこれまでにない措置をとるということで、想定されている中では、これによってしっかりと当該原子炉はコントロール、管理下におかれるものと思っております。(中略)格納容器を満たす時間ではありますが、詳細にはポンプの稼働の状況等によって正確にあらかじめ決めることができるわけではありませんが、概ね5時間から、プラスα数時間という範囲内ではないだろうかというふうに考えております」

官邸には海水注人が始まったことで1号機への安心感が生まれつつあった。東京電力の記者会見でも「1号機に海水が注入され、水位が回復してきた」と広報担当者がメディアに伝えていた。当時、12日夜には、1号機の事態の悪化は止まったのではないかと多くの専門家も見ていた。

しかし、1号機の原子炉にはほぼ水が入ることはなく、事態の悪化は注水ルートを変更する3月23日まで止まらなかったのだ。

なぜ、12日間にわたって、1号機の原子炉に注水が続いているなかで、「抜け道」に対する対応ができなかったのか。次の章ではこの期間のテレビ会議をすべて人工知能で読み解き、危機対応の深層に迫っていく。

第5章

1号機の消防注水の漏洩はなぜ見過ごされたのか？

「東電テレナビ会議」人工知能解析でわかった
吉田所長の極限の疲労



大量発生した水素と放射性物質の漏洩

水素の発生が継続することで別の悪影響も出ていた可能性もある。エネルギー総合工学研究所原子力工学センター副センター長の内藤正則は、大量に発生した水素が、格納容器からの放射性物質の放出を促したと考えている。

1号機の格納容器の圧力は、水素爆発後、翌日の3月13日午後5時30分ごろまでじわりじわりと上昇を続けていた。内藤は、この圧力上昇の原因が、冷却できなかつた原子炉から発生している水素などのガスだと言っている。格納容器の圧力が高まることは、放射性物質の封じ込めが機能していることを意味する。ところが午後5時30分以降、今度は格納容器の圧力が徐々に下がりはじめた。この時期、1号機においては格納容器の圧力を下げるベントは行われていない。

ベントも行われていないのに、なぜ圧力は下がったのか。内藤は、なんらかの原因で格納容器の封じ込め機能が低下して、充満していた気体の一部が外部に流出した可能性を指摘する。

「MCCIによって大量に発生した水素が格納容器内に充満したことにより、圧力が上昇し、格納容器のどこかに漏洩する箇所が生じて、そこから水素などとともに放射性物質が放出されていた可能性があります」

1号機の原子炉の圧力が低下した3月13日の夕方といえば、3号機の冷却機能が喪失し、マルチダウンを食い止めるための消防車による注水のアオペレーションや3号機のベントの作業が山場を迎えていた。1号機の格納容器と向き合う余裕は現場にはなかったのだからである。

鈴木章雄(すずき あきお)、NHK大型企画開発センター チーフディレクター
 1977年東京都生まれ。本書では4章・5章を執筆。2000年NHK入局。金沢局に4年赴任。その後、報道局を経て現職。福島第一原発事故以降は、同原発や東京電力本店、柏崎刈羽原発の現場取材し、『東京電力・原子力改革特別タスクフォース』『汚染水』をテーマとしたクローズアップ現代などを手がける。またNHKスペシャル『メルトダウン』『廃炉への道』などのシリーズを制作。原発事故5年目の節目にはNHKスペシャル『原発メルトダウン 危機の88時間』を国内外に向けて放送した。

岡本賢一郎(おかもと けんいちろう) NHK科学文化部 記者
 1978年香川県生まれ。本書では「プロローグ」と2章を執筆。大学時代に社会学部で青森県六ヶ所村の処分場問題を研究したのを機に、大学院では原子力工学を専攻し、核のごみの地層処分を研究。2004年NHK入局。鳥取局と松江局では主に事件や行政取材を担当。2010年から現所属で先端技術やノーベル賞を取材。福島第一原発事故では、当日から事故対応にあたりとともに廃炉や原子力政策を取材。NHKスペシャル『メルトダウン』や『廃炉への道』を担当。

国枝 拓(くにえだ たく) NHK科学文化部 記者
 1979年岐阜県生まれ。本書では「プロローグ」と2章を執筆。大学では文学部日本史学科で近現代史を専攻。新聞記者を経て2009年NHK入局。松山局で警察や行政、経済取材のほか、四国電力伊方原発の安全審査の取材を担当後、2014年から現職。東京電力福島第一原発の廃炉・汚染水対策や原発事故の検証を取材。NHKスペシャル『メルトダウン』や『廃炉への道』を担当。

講談社現代新書 福島第一原発 1号機冷却「失敗の本質」

二〇一七年九月二〇日第一刷発行

著者 NHKスペシャル『メルトダウン』取材班 ©NHK Special Meltdown TVcrews 2017

発行者 鈴木哲

発行所 株式会社講談社

東京都文京区音羽二丁目二二二二 郵便番号 112-8601

電話 〇三三五九五五三三二 編集(現代新書)

〇三三五九五五三四二五 販売

〇三三五九五五三六二五 業務

装幀者 中島菜樹

印刷所 凸版印刷株式会社

製本所 株式会社大進堂

定価はカバーに表示しております Printed in Japan



N.D.C. 543.5 284p 18cm
 ISBN978-4-06-288443-3

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上の例外を除き禁じられています。本書を代行業務等の第三者に転売してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。図(日本複製権センター委託出版物)
 著作権を御希望の場合は、日本複製権センター(電話〇三三三四〇一一三三八)に申し送りください。
 著者・訳者・印刷所は購入者氏名を明記のうえ、小社業務室までにお送りください。
 送料小社負担にてお取り寄せいたします。
 なお、この本についてのお問い合わせは、現代新書 までお願いいたします。