

# NIMS NOW 5

No.



なぜ、

それは

事故調査ファイル

壊れたか？

## 事故調査ファイル

なぜ、

それは壊れたか？

不幸にも後を絶たない、金属材料の劣化が引き起こす事故。

橋の崩落や航空機の墜落……深刻な事故が世界中で起きている。

金属はなぜ壊れたか。悲劇を繰り返さないためにはその原因を究明し、  
今後の対策へとつなげていかなければならない。

それに対し長年の材料試験で得た知見を活かして貢献しているのが、  
NIMSの事故調査チームだ。

手がかりは、現場に残された金属片。

その破断面に残る痕跡から、まるで病理医が病体をみて病の原因や経緯を明らかにしていくように、  
金属を破壊に至らしめた“病”の正体を読み解いていくのだ。

# 破断面は語る。

## NIMSの事故調査50年



2020年6月、運輸安全委員会から送られた感謝状。

### 日本航空ジャンボ機墜落、もんじゅナトリウム漏えい事故

NIMSの事故調査の歴史は長い。NIMSの前身、金属材料技術研究所(以下、金材研)の時代から50年近くにわたり、70件を超える事案の解決に貢献してきた。

金属をむしばむ“病”として代表的なものが「金属疲労」だ。ごくわずかな力であっても、それが繰り返しかかることによって金属の内部にき裂が入り、強度が低下していく現象のこと。金属の劣化によって起こる事故の大部分が、疲労によるものといわれている。また、さびによる「腐食」も金属の大敵。NIMSでは、金属疲労と腐食が事故の原因と疑われ、警察や国土交通省運輸安全委員会、裁判所などの公的機関から依頼を受けた場合に調査を行っている。

疲労破壊が原因となった痛ましい事故に、1985年8月に起きた「日本航空ジャンボ機墜落事故」がある。520名もの乗員・乗客の尊い命が失われた、未曾有の航空事故だ。機体損傷のきっかけと疑われたのは、機体後部に位置する「圧力隔壁」という金属製の部品。その分析を託されたのが、金材研(現・NIMS)の事故調査チームだった。調査チームは、現場から奇跡的に回収された圧力隔壁を丹念に調べ、まさしくこの部品で疲労破壊が起こったと断定。この調査結果によって、墜落の7年前に行われた圧力隔壁の修理ミスという、事故の真相が浮き彫りになった。

1995年12月に起きた高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故も、疲労破壊が原因で起きた重大事故のひとつだ。その調査を担当したのも、金材研の事故調査チームだった。この事故では、パイプに差しこまれていた温度計を保護する金

属製さやが付け根から折れ、おびただしい量の液体ナトリウムが漏えい。すぐにでも火災へと発展しかねない、極めて危険な状況となった。調査チームは、さやの破断面を電子顕微鏡で解析。不適切な設計によってさやの段付部に想定よりも大きな負荷がかかり、金属疲労が急速に進んで破壊に至ったことを突き止めた。

その他にも、航空・自動車・船舶事故から人工関節の損壊といった事案に至るまで、NIMSは多種多様な分野で解決への道を示してきた。

### その証拠、破断面にあり

日本航空ジャンボ機ともんじゅ、いずれの事故調査においても決め手となったもの、それは金属の破断面に現れた“模様”だ。

瞬間的に強い力が加わったときや、引

張られたとき、力が繰り返し加わったとき——。破断面には、それぞれの現象に応じた模様が刻みこまれる。電子顕微鏡を使うことで初めて確認できる、マイクロ模様である(p11に例)。つまりその模様を調べれば、破壊に至るまでの間に金属へどんな力がかかり、どこからどのように破壊が進んでいったのか、その経緯が断定できるというわけだ。

事実、日本航空ジャンボ機ともんじゅの調査では、金属疲労が起きたことを示す模様「ストライエーション」が決定的な証拠となった。黙して語らぬ破断面は、実は雄弁な証人なのだ。

### “匠の目”を受け継ぐ者、AI

破断面に残る数々の痕跡。かといって、破断面を観察しさえすれば誰もがすぐに答えにたどり着くことができるほど、調査は

たやすいものではない。なぜなら、マイクロ目で見た破断面は広大で、闇雲に観察を進めていけば途方もなく時間がかかる。また、同じ現象によって刻まれた模様であっても、材料の組成によってその出かたが異なるケースもあるからだ。さびによる腐食や機械工学など、考え合わせなければならぬ要素も多い。調べるべき箇所をすばやく見定め、破断面を正しく読み解くには経験があるが、熟練した技術者は減少の一途にある。

百戦錬磨の“匠の目”をいかに次世代へと受け継ぐか。今、その後継者として「人工知能(AI)」に白羽の矢が立った。NIMSでは2020年4月、事故調査や材料試験に携わる研究者とAIの研究者が共同で、破断面の画像を読み取るだけで破壊の原因や劣化度合いを診断できるAIの開発に乗り出した(p15参照)。近い将来、AIが事故調査の現場で活躍すること

が当たり前になるかもしれない。一方で、変わらず守り続けるべきものもある。それは中立であることだ。事故にはほとんどの場合、加害者と被害者、責任を争う二者といった相対する立場が存在する。そうした中で、ただ一心に破断面に目を凝らし、証拠をひとつひとつ積み上げて真相に迫ることこそ、NIMSに課せられた使命なのだ。

### NIMSで調査した主な事案



1985年 日本航空ジャンボ機墜落事故



1995年 高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故



2002年 小型プロペラ機墜落事故

調査プロセスが動画で見られます!



2016年 長良川鉄道脱線事故 p12参照

1970

1980

1990

2000

2010

2020

1972年 関西電力海南発電所3号機破損事故

1999年 H-IIロケット8号機打ち上げ失敗 p6参照

2008年 NHK取材ヘリコプター墜落事故

2019年 旅客船「ぎんが」衝突事故

## 調査ファイル1: H-IIロケット8号機打ち上げ失敗

# エンジン停止の真相に迫れ。



打ち上げ直後のH-IIロケット8号機。  
(写真提供: JAXA)

### LE-7エンジンを回収せよ

2000年1月、場所は小笠原父島・北西約380km沖。NIMSの前身、金属材料技術研究所の松岡三郎(所属は当時)は、船の上でそれが引き上げられるのを待っていた。「それ」とは、打ち上げに失敗し海に沈んだH-IIロケット8号機のエンジン、LE-7だ。

1999年11月15日、H-IIロケット8号機は種子島宇宙センターからの打ち上げ後、3分59秒で燃焼を停止。姿勢を制御できないまま、打ち上げから7分39秒で指令爆破され、小笠原の海に落ちた。

ロケットとの通信データから、エンジンに備わる、燃料の液体水素を燃焼部へと送りこむポンプが停止したことは分かっている。しかし、その理由は実物を調べてみないことには分からない。

海に沈んだエンジンのゆくえを追って、宇宙開発事業団(現・JAXA)の落下軌道計算が行われた。重点捜査範囲は3.3km×26km(85km<sup>2</sup>)。水深3,000mにも及ぶ光が届かない広大な海中から車1台を見つけ出すようなこの捜索は困難を極めたが、打ち上げから5週間後の12月24日、海洋科学技術センター(現・海洋研究開発機構)によって奇跡的に発見された。そして翌年1月、松岡は打ち上げ失敗の原因究明のため、金属材料の専門家として引き上げに立ち会っていたのだ。

果たしてエンジンを見てみると、液体水素ターボポンプの「インデューサ」と呼ばれる羽根のうち1枚が割れていた(p8写真)。

では、なぜポンプの羽根が割れたのか。

### 羽根の割れをめぐる紛糾する議論

羽根は、高強度で極低温に耐える特別なチタン合金でできている。-253℃の液体水素を、1秒間に700回もの高速回転によって燃焼部へと勢いよく送りこむ必要があるからだ。しかし、その恐ろしく強靱な材料が、現に割れている。

この割れの原因を調査するため、専門



海の底から引き上げられたLE-7エンジン。  
(写真提供: JAXA)

家会合\*が設置された。松岡もこの一員だ。エンジンを前に、松岡らはまず、目視による破断面の観察を開始。何かの衝突で壊れたのであれば引きちぎられたような破壊痕になるが、そうではなかった。平坦に、スパッとナイフで切られたような跡なのだ。平坦な跡の場合、「疲労破壊」と「脆性破壊」と呼ばれる二つの原因が疑われる。疲労破壊は、わずかな力が繰り返し加わることで生じる「金属疲労(以下、疲労)」によって壊れるのに対して、脆性破壊は、瞬間的に強い力が加わることによって急激に壊れる現象をいう。

この二つを巡って、専門家会合では激しい議論が繰り返されていた。破壊の原因によって、材質の見直しや設計の改良など、この先打つべき対策は異なるからだ。そして、水素が内部に入りこんで脆くなった金属において脆性破壊が起こった場合、その破断面は疲労破壊によるものと酷似し、見分けが極めて難しい。

この議論に決着をつけるべく、金属材料技術研究所の調査チームは、羽根の破断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で解析していった。

### 羽根にかかる力の謎

SEMによる解析の結果、羽根の破断面に「ストライエーション」と呼ばれる模様が確認された(p9右上写真)。疲労が起こったとき特有の模様だ。その起点になっていたのは、羽根の表面にあった深さ15マイクロメートルの加工痕。人間の髪の毛の4分の1ほどしかないごくわずかなキズを起点に疲労が進展していった痕跡が、ありありと現れていたのである。また、破断面には「ディンプル」と呼ばれる模様が現れており、その形態は極低温下で壊れたことを示していた。つまり、羽根の破壊が墜落の前に生じたのは確実ということだ。

さらに、ストライエーションの筋の間隔から羽根にかかっていた力を計算した結果、設計時の予測を大幅に超える力がかかっていたことが明らかになった。羽根を破壊させるには不十分な値ではあったが、見逃せないのが表面のキズの存在だ。金属の表面にキズがあると、その周辺で力が局所的に増大する「応力集中」と呼ばれる現象が起こる。これによって羽根にかかっていた強い力がさらに増大してしま

い、破断に至ってしまったと考えられる。とはいえ、そもそもなぜ羽根に対して強い力が発生していたのか説明がつかなかった。疲労破壊は力が繰り返し作用することで起こるのに対し、グルグル廻るときには一定の遠心力だけで、繰り返し作用する力は無視できるほど小さいはずなのだ。

そこで、羽根に対する力の発生源を探るため同型のエンジンを使った燃焼試験と『水流し試験』と呼ばれる試験を実施。水流し試験とは、燃料の液体水素の代わりに水を流し、流体の動きとそれに伴う負荷を調べる試験である。少しずつエンジンの回転数をあげていくと、羽根の周辺に想定外の渦と大量の気泡が生じる「旋回キャビテーション」と呼ばれる現象が起こった。これによって水の逆流が起き、羽

根に余計な力が繰り返しかかっていたことが分かった。さらに、想定外の振動が羽根に生じ、力が増大してしまっていたことも明らかになった。

旋回キャビテーションの発生と、想定外の振動。この二つに加え、加工痕に力が一極集中し羽根は割れた。この結果は宇宙開発委員会へと報告され、調査は決着を迎えた。

### 羽根の材質に潜んだもうひとつの原因

しかし、話はそこで終わらなかった。後日、羽根に使われていたチタン合金の材質自体にも問題があったことが分かったのだ。ロケットエンジン用の金属は、極低温の液体水素にさらされるなど、過酷かつ特

殊な環境で使われるために特別な開発を要する。そこで羽根をつくる際に参照されたのが、アメリカ・NASAが公表していたデータだった。合金の組成と、極低温下での疲労特性との関係を示したデータ集である。戦後長く日本のロケットは海外から導入された技術をベースにつくられていたため、当時日本にはそうしたデータが存在していなかったからだ。

そこに落とし穴があった。羽根は、金属をハンマーで打ちたたいて成型する「鍛造」と呼ばれる方法で大きなブロックをつくり、削りだされたもの。一方、NASAが公表していたデータは同じ合金でも、ローラーで金属を薄く延ばしていく「圧延」と呼ばれる方法で作られた薄板状のものだった。つくり方の違いは、結晶の構成（組織）の違いを生む。そのひ

とつが結晶粒で、チタン合金の場合は特に結晶粒の違いが疲労特性に大きな影響を及ぼす。

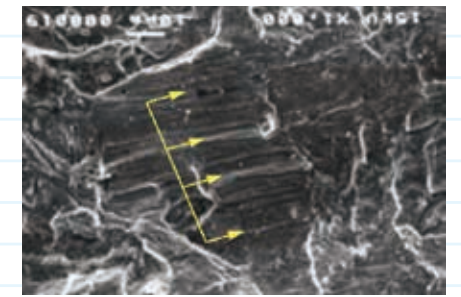
羽根を調べてみると、その結晶粒は薄板状の材料で見られるものよりも大きく、わずかではあるが疲労破壊しやすい特性であったことが分かった。羽根の材質自体にも大きな問題が潜んでいたのである。

実際の製造方法や使用環境に即したデータに基づいて開発を進めなければ、安全を担保することはできない。この教訓をもとに、NIMSはJAXAと共に極低温下における金属の耐久性を調べる材料試験に着手。試験の結果は「宇宙関連材料強度データシート」として現在まで発行が続けられ、今やロケット開発においてなくてはならないものとなっている（下囲み参照）。

そして、ロケットエンジンに関しては、NIMSで取得した材料試験データが設計用の材料基準に反映されると共に、ごくわずかな傷も許さない徹底した鏡面仕上げと、旋回キャビテーションの発生を防止する設計がなされるようになった。2001年には、H-IIAロケットとLE-7Aエンジンとして無事、1号機の打ち上げに成功した。

2021年には、最新型のH3ロケットが宇宙に飛び立つ。日本の技術を結集したこのロケットにはもちろん、NIMSの材料試験で得た知見が生きている。

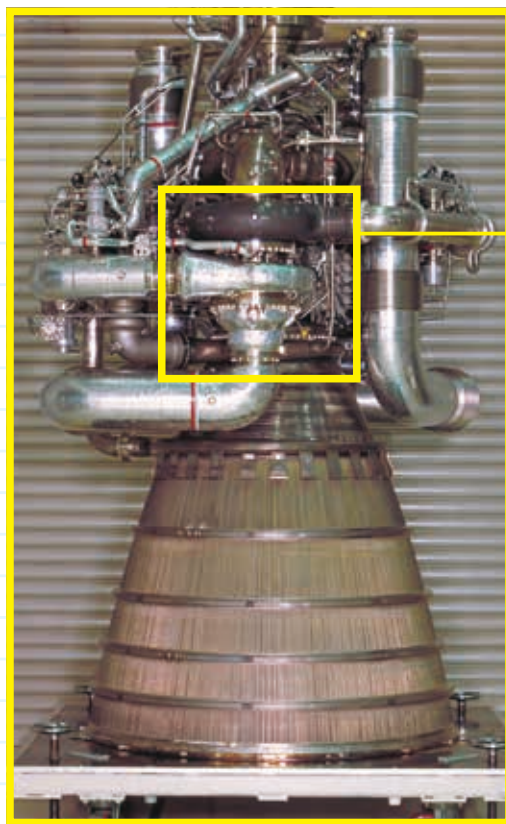
\*専門家会合・研究所や大学の研究者から成る調査班。文部科学省宇宙開発委員会技術評価部会のもとに設置された。



走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した羽根の破断面。羽根の破断面には、金属疲労が起きたことを示す模様、「ストライエーション」がありありと現れていた。



H-IIロケット8号機の模式図



LE-7エンジン



LE-7エンジンが取り付けられていたのは、ロケットの底部。引き上げられたエンジンの内部を調べると、燃料の液体水素を燃焼部へと送り込むために備えられたポンプの羽根が割れていた。（写真提供：JAXA）



## JAXA × NIMSでつくるロケット開発の指針「宇宙関連材料強度データシート」

H-IIロケット8号機の打ち上げ失敗は、特殊な環境で使う材料開発の難しさを改めて浮き彫りにする出来事となった。実際の環境において材料がどのような特性を発揮するのか、自ら裏づけを取っていかねば宇宙開発の安全は守れない。そうした共通の危機感を胸に、打ち上げ失敗の直後、JAXAとNIMSは共同で新事業を立ち上げた。その名も、「宇宙関連材料強度データシート」事業だ。

ロケットの燃料は、液体水素（-253℃）や液体酸素（-183℃）。そうした極低温の環境下で、ロケットエンジンに使われる金属材料の特性を評価する試験を行い、材料基準を策定すると共に、試験結

果を広く公表することによって金属材料の信頼性を担保することがねらいである。JAXAが選定した金属材料について、NIMSが試験を実施。引張特性や疲労特性、靱性という基礎的な情報をまとめたデータシートは、ウェブサイトで見ることが可能だ。（<https://smds.nims.go.jp/space/>）

20年近くに及ぶ事業の中で、NIMSは試験方法の開発にも力を注いできた。液体水素の代わりにヘリウムガスを用い、冷凍機とヒーターによる温度調整を行うことで、極低温環境を安定的に模擬することに成功。-253℃のヘリウムガス雰囲気における長時間の疲労試験を実現している。また、試験時の金属材料の

挙動とそれに及ぼす因子を調べ上げ、破壊メカニズムの解明に貢献するなど学術的な成果も生んでいる。

事業が始まって以来、材料に起因したロケット打ち上げ失敗はない。地上での地道な試験が、宇宙への夢を力強く後押ししている。



冊子版は、2003年に第1刊を発行してから今年で29冊を数える。

# 調査のプロセス

方針の決定から詳細な解析まで、大まかな手順をご紹介します。

写真：石川典人（p7の電子顕微鏡写真を除く）

## Step1 概観の調査

さびによる腐食の進行度合いや変形具合などを確認していく。このとき、腐食の影響が大きいと考えられる場合にはその専門家を交えて調査チームを編成するなど、大まかな調査の方針を固める。

ルーペやノギスを使って調査品を入念に調べ、仮説を立てる。わずかな痕跡も見逃さず適切に見当をつけられるかどうかは調査のスピードを左右する。「目視の段階で、破壊の原因のほとんどが推定できる」（古谷）というほど重要なプロセス。少し擦るだけでも破断面のミクロな証拠が失われかねないため、調査品の取り扱いには厳重な注意が必要。

## Step2 目視



ルーペで

破断面や周囲の特徴をチェック。かすかなキズや金属光沢の違いが手がかりになるので慎重に。



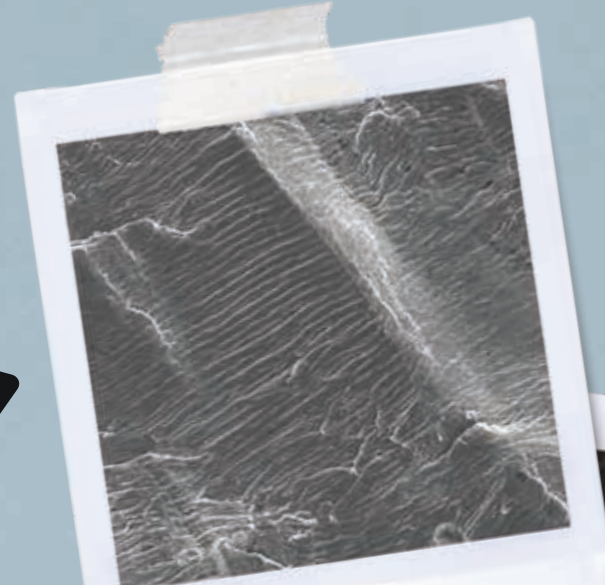
ノギスで

変形の度合いを計測。変形を伴って破断したかどうかによって破壊の原因が絞られる。

調査品が大きくて搬入が難しい場合には、事故現場に向向くことも。

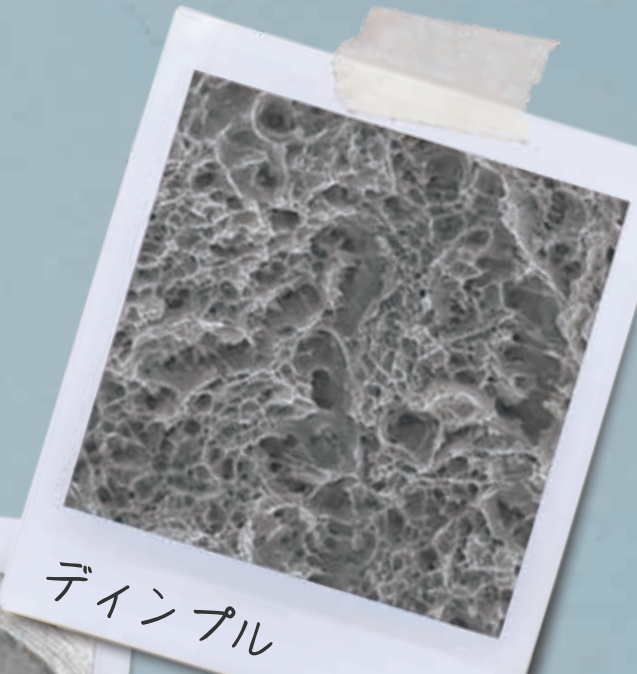
## Step3 証拠固め

目視によって見当をつけた箇所を、走査型電子顕微鏡 (SEM) で詳細に観察。破断面に現れるさまざまな模様や微細なキズから、真相を読み解いていく。事故から日が経った破断面はさびに覆われてしまうため、酸処理によって表面を清浄化して観察に臨むが、破壊の痕跡を消すことなくさびだけを落とすには、熟練の技を必要とする。



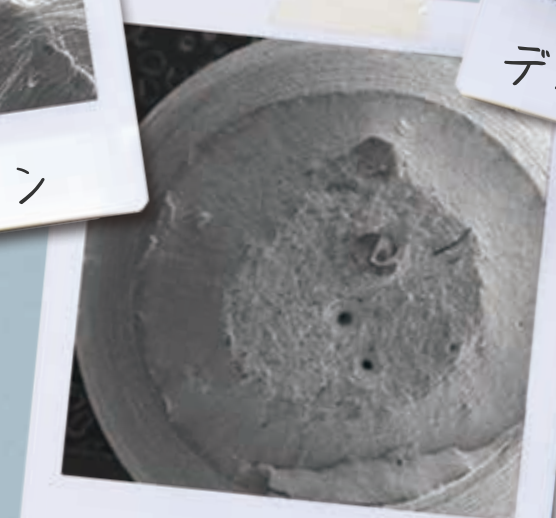
ストライエーション

小さな力が繰り返し加わり、限界に達して破断した場合（疲労破壊）の模様。特徴は、き裂の進行と停止の繰り返しを示す筋。その数と間隔から、加わった力の大きさや回数が推定できる。



ディンプル

強い力がゆっくり断続的に加わったことで、変形しながらちぎれるように破断した場合（延性破壊）の模様。丸いほみが一面に現れる。



カップアンドコーン

延性破壊が起きたときの、マクロな相の一例。金属の内側はちぎれるように割れ、外側は結晶がすべるように割れる（せん断）ことで、異なる2つのパターンが現れる。



へき開

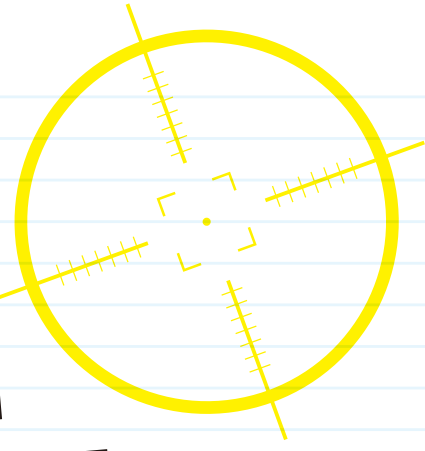
瞬間的に加わった強い力に対し、変形することなく急激に破断した場合（脆性破壊）の模様。結晶の割れやすい面に沿ってき裂が進む。



監修：古谷佳之 Yoshiyuki Furuya  
構造材料研究拠点 解析・評価分野  
疲労特性グループ グループリーダー

# 調査ファイル2:長良川鉄道脱線事故

# レール破断の決定打を暴け。



事故翌日の、警察と調査官による現場検証の様子。  
(写真提供:株式会社 産業経済新聞社)

## トンネル内での脱線

2016年4月15日金曜日、事故は起こった。現場は岐阜県美濃市、長良川鉄道・越美南線の須原トンネル。1両編成の列車は、母野駅を19時23分の定刻で発車した。その日の天気は晴れ、日の入りは18時25分。辺りはもう暗くなっていた。

列車は時速50kmで走行、運転士1名、乗客は2名。やがてトンネルに入り、右カーブを走行中、突然爆音が響いた。列車の後輪ふたつが脱線したのだ。脱線によって列車の後方は左に振られ、側壁にぶつかり、90mほど走行したあと、ようやくトンネル中央付近で停止した。

運転士の証言によると、「(トンネルに入って)しばらくすると、本列車の後方から、突然『ゴン』という大きな音と同時に車体を突き上げるような衝撃を感じた。慌てて非常ブレーキを使用した。その後は上下左右にガタガタという振動で揺さぶられ、何が起きているのかわからず、停車するまで列車に捕まっているのがやっとの状態であった」という。幸い乗客にけがはなく、運転士が軽傷を負っただけであった。

事故の翌日、国土交通省運輸安全委員会は調査官を現場に派遣。進行方向左側のレールが折れており、これが脱線の原因であることは明らかだった。だが、有効な対策を打つにはなぜ折れたのかを正確に知らなければならない。そこで、同年9月に運輸安全委員会からNIMSへ、より詳細な調査が依頼されたのである。

## レールの不可解な欠け

NIMSへレールの破断部が調査品として提供された。調査チームの一員だった古谷佳之(構造材料研究拠点 疲労特性グループ グループリーダー)は、当時のことを振り返る。

「レールを見たら一目瞭然、大きく割れていたんです。つまり、すり減ってしまっていた。敷設から30年以上も交換されていなかったんです。レールの面積減少率

が4割までいっているところもあった。だから、劣化して割れたんだろうな、と見当をつけて調査を始めました」

古谷の見立てはこうだった。レールは繰り返しかかる力によって内部にひびが入り、いわゆる「金属疲労(以下、疲労)」が進んだ状態だった。さらに長期間の使用によって金属が痩せていく「腐食減肉」が進み、レールの厚みそのものがなくなっていた。そこに列車が通過し、ついにバリバリッと割れた――。

「ただ、ひとつ気になるところがありました。レール破断箇所の上部に、妙な欠けがあったんです。この欠けが、レールが壊れる前についたのか、それとも壊れたあとについたのか、それが問題でした」

通常、レールにおいて最も負荷がかかりやすいのが、レール下部の角の部分。つまり、疲労が原因で破断が起きた場合、下から上に向かって割れるのが一般的だ。それが、レール上部の欠けから下に向かって割れたとなれば、話は全く違ってくる。

「そうだったら、みんな頭を抱えちゃうでしょうね。レールの硬さ不足という、材質や製造方法の問題である可能性が出てくる。同じ条件でつくられたレールならどこでも破断が起り得ることになってしまうんですから」と古谷は言う。当然、このことは責任問題も孕んでいる。材質や製造方法の問題であれば、レールの製造会社のミスということになる。一方、疲労と腐食が原因であれば、管理会社の責任となる。破断が上からか、下からかによって、その後の対策も責任の所在も大きく変わってくるのだ。

## レールを蝕んださび

破断の原因を絞り込むにあたって焦点になったのが、レール本体の特性と、さびによる腐食の二つだ。古谷は腐食の専門家である片山英樹(構造材料研究拠点 腐食特性グループ グループリーダー)らにも協力を依頼し、7名の調査チームを編成した。

材質検査の結果では、破断したレールは、レール鋼として一般的なパーライト組

織で、化学成分もJIS規格の範囲内であることが分かった。一方で、腐食のスピードに不可解な点があった。

レール腹部の厚みを測ってみると、新品が14.29mmであるのに対し破断したレールは6.75mm。これは腐食が深刻化しやすい海岸部にも匹敵するスピードだ。確かに、トンネル内は天井や壁面から水が沁み出しており、腐食しやすい環境であったことは間違いない。さびの成分分析の結果からも、レールが相当な期間、水に触れていたことは明らかだ。しかし、現地で採取した水質を調査した結果、腐食の促進因子とされる成分(Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)の濃度は低かった。つまり、際立って腐食が進みやすい水質とはいえなかったということだ。

「この結果を運輸安全委員会に知らせると、トンネル開通時に中古のレールが敷かれていた可能性があるという答えが返ってきたのです」と古谷は振り返る。敷設に先んじて腐食が進行していたとなれば、周囲の環境にそぐわない腐食度合いにも納得がいく。

腐食による影響が強く表れていたのが、レールの底面だ。もともとレールは枕木にボルトで止めつけられているが、レール底面の腐食減肉が進んで枕木との距離が広がった結果、レールが枕木から浮き上がるようとする反発力が增大していたことが分かった。

事故当時、レールに相当な負荷がかかっていたことは確実だった。しかし、それが決定打となった確証は、まだない。古谷ら疲労の専門家チームは、走査電子顕微鏡(SEM)による観察へと進んでいった。

## 破断は上からか、下からか?

まず、レール下部の角(p14図・A点)、ここには縞状の模様が見えた。「ストライエーション」といい、この箇所でも疲労が進行していたことを示す模様だ。事故現場は右カーブで、レールには列車の重量だけでなく遠心力の影響が強く働いていた。つまり、カーブ外側の角に大きな荷

重がかかっていたのだ。

一方で、そのすぐ隣の領域（図・B点）には、「へき開」の様子が全面に広がっていた。これは、衝撃が加わって一気に割れたことを意味している。レール腹部（図・C点）と上部（図・D点）も同様に、へき開の様子が広がっていた。問題はへき開が起きた原因だ。下部の疲労によるき裂か、それとも上部の欠けか。

へき開の模様の中に、その答えはあった。「リバーパターン」と呼ばれる川状の筋だ。へき開の場合、結晶の割れやすい面に沿ってき裂が進んでいくのだが、まるで細い川が下流へいくにしたがって本流にまとまっていくように、き裂が複数本合流した結果が筋となって現れる。つまり、合流に至った経路を見れば、き裂が進んでいった方向が分かるのだ。

果たして、破断面のリバーパターンは、

破断が下から上に向かって進んでいったことを示していた。古谷の最初の見立てどおり、レール下部の疲労と腐食によってき裂が進み、限界を迎えたところで一気にへき開が起これ、破断に至ったことが確かなものとなったのだ。そして頭頂部の欠けは、破断の後にできたものであると結論づけた。

この結果は調査開始の3ヶ月後、2016年12月22日に運輸安全委員会に提出された。

### 解決、そして取られた対策

他方面の調査で、事故の直前に別の運転士が異音を耳にしていたことや、別のトンネル内でレールの折損が起きたことから近日中にレールの交換を予定していたものの、交換前に事故が起これてしまっ

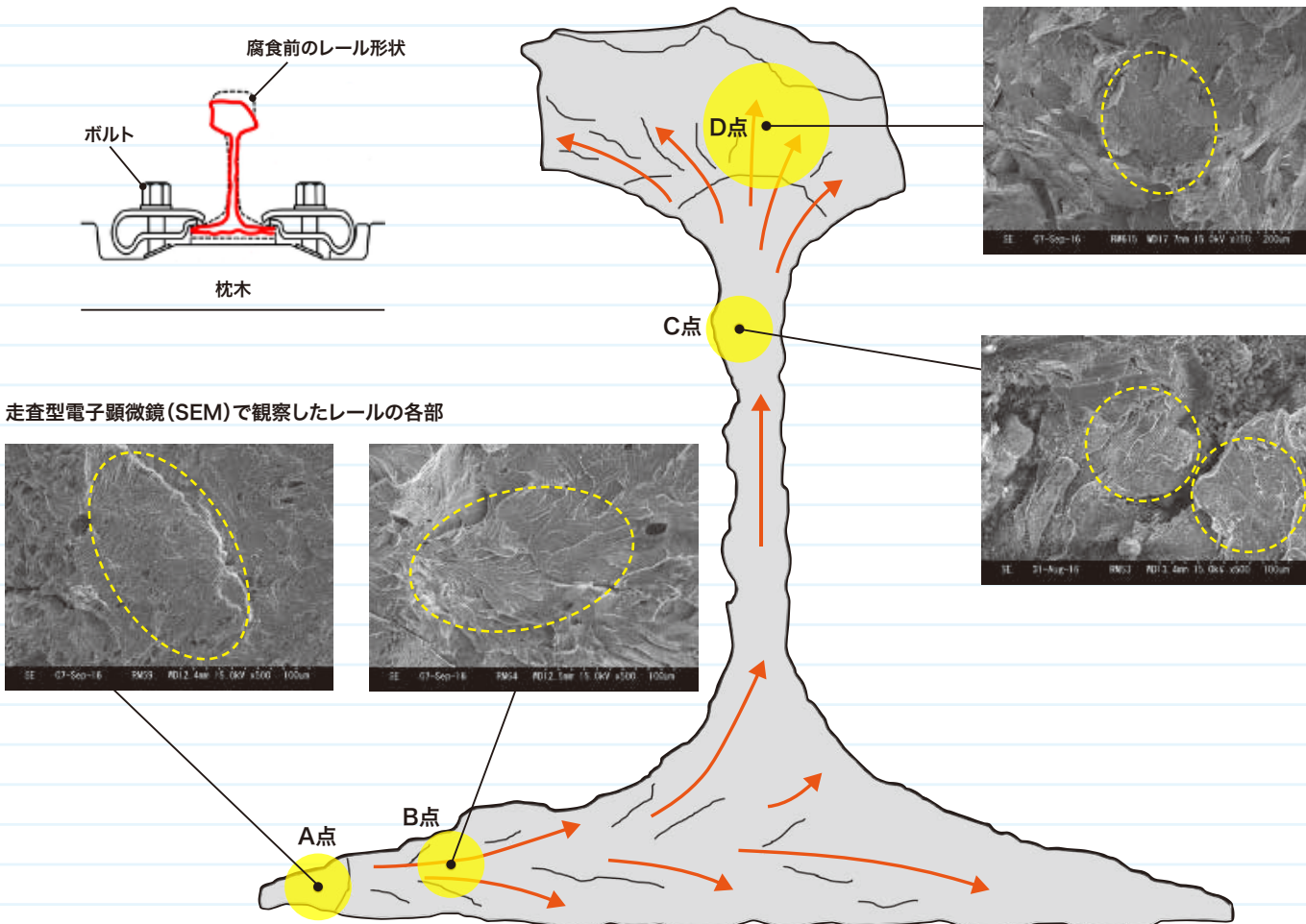
ていたことが分かった。

「まさかこんなに早く、腐食によりレールが折損するとは考えていなかった」と長良川鉄道は報告書にコメントしている。以後、もちろんレールは交換され、トンネル内の漏水対策も行われた。

今回の調査では、「片山氏の腐食チームと、われわれ金属疲労のチームとがうまくタッグを組めた」と古谷は語る。一見して原因が明らかなように思える事故調査でも、それぞれの専門家がチームを組み、事故の疑問点をひとつひとつクリアにしていくことで、揺るぎのない事故原因にたどり着く。そうした調査のひとつの典型例といえるだろう。

（文・小森岳史）

\*国土交通省運輸安全委員会公表「鉄道事故調査報告書RA2017-1」より



A点には金属が疲労していたことを示す「ストライエーション」模様が、B点・C点・D点には瞬間的に加わった強い力で割れたことを示す「へき開」模様が現れていた。き裂が進んでいった方向性を決定づけたのが、B点に現れた「リバーパターン」と呼ばれる筋だ。

## COLUMN

# 人工知能 (AI) で金属の劣化を診断! 「『匠の目』プロジェクト」



事故原因の究明に欠かせない、破断面の観察。電子顕微鏡を使えば手がかりを可視化できるが、肝心なのはその目利き。多様な模様が入り混じる中から真相を導きだせるか否かは、経験がものを言う。ところが熟練した技術者は減少の一途にあり、事故調査の現場は後継者問題に直面している。

同様の問題を抱えているのが、火力発電プラントの寿命診断だ。高温・高圧という厳しい環境下に置かれる配管やボイラーの定期点検は、未然に事故を防ぐために必要不可欠。点検方法のひとつに、実機から一部を切りだして金属組織を観察する方法があるが、診断は限られた熟練技術者の目に頼らざるを得ないのが現状だ。

そこでNIMSは、2020年4月に「『匠の目』プロジェクト」を立ち上げた。事故調査用と寿命診断用、二つの人工知能 (AI) を用意し、金属組織の画像とそれに紐づく材料の組成や劣化に関する情報を学習させる。そして、調べたい金属組織の破壊の原因や劣化の度合いを自動判定してもらおうのだ。

AIに学習させる画像は主に、NIMSが50年以上に及ぶ材料試験で蓄積してきたものだ。事故調査用のAIには、引張りや曲げに対する金属の耐久性を調べる「疲労試験」で取得してきた画像を、寿命診断用のAIには、熱と荷重をかけた鉄鋼の耐久性を調べる「クリープ試験」で取得してきた画像を読みこませていく。大量の画像の中か

らどの画像を読みこませるかによってAIの診断精度は左右されるが、その選定に、NIMSの熟練技術者の経験が活かされる。

データを処理するAIも自前で開発する。大量のデータをもとに新材料を見つけ出す「マテリアルズ・インフォマティクス」の実施でNIMSが培ってきたデータベース構築のノウハウを活かし、数年以内に試作機を完成させる計画だ。

連綿と続いてきた材料試験と、発展著しいAI研究、NIMSの二つの強みがタッグを組んだプロジェクト。社会の安全を守る新しい一手が生まれようとしている。



クリープ試験機



材料研究の旬な情報をいち早くお届け!

# 使える! メールマガジン

NIMSのメールマガジンをご存知ですか?

材料研究の最新ニュースはもちろん、スペシャル・コンテンツや研究ウラ話など、メルマガでしか手に入らない情報満載で配信中です! 一般公開やNIMS WEEKなど大型イベント前には、いち早く耳寄り情報をお届け。材料研究の最先端をお楽しみください!

こんな情報が載っています

## 今月の一枚

材料ってキレイ、物理現象って不思議……  
科学の魅力を写真からご堪能ください。



ご登録は下記に空メールを送るだけ

[nims.mailmag@fofa.jp](mailto:nims.mailmag@fofa.jp)

- ★定期配信号: 毎月第二水曜日(月1回)  
※諸事情により前後する場合があります。
- ★臨時増刊号: イベント前に随時

## HOT TOPICS

読めば材料研究の最先端が丸わかり! 最新ニュースやプレスリリース、イベント情報、公開講座などなどNIMSのホットで役に立つ情報をギュギュっとまとめてお伝えします。



## NIMS装置図鑑

装置は材料開発における縁の下の力持ち。世界に一つしかない装置、その研究のためだけにカスタマイズされた装置、巨大で迫力な装置、何十年も愛用されている年季の入った装置——NIMSが誇るさまざまな装置を、美しいビジュアルとともにお届けします。



新コンテンツが  
続々スタート!

トレンドの材料を分かりやすく解説する(いま、この材料がアツい!)、読者参加型イベントなど、新規企画中!



←バックナンバーはこちら  
※第104号以降をご覧ください

## オトナの科学本

本を通してサイエンスの世界にどっぷり浸ってみませんか? といっても、難解な専門書ではありません。科学好きの知識欲をくすぐる一冊を、NIMS広報部員が厳選してご紹介します。

※内容は月によって変わります



NIMS NOW vol.20 No.5 通巻184号 2020年10月発行  
国立研究開発法人 物質・材料研究機構



古紙配合率70%再生紙を使用しています



植物油インキを使用し印刷しています