

調査報告書

日本の原子炉に導入された一次冷却系部材、

炭素異常に関するレビュー

最終第二部及び三部 日本の原子力発電所内に存在する

欠陥を有する可能性のある部材

顧客: GREENPEACE GERMANY

Ref N° R3235-R2

LARGEASSOCIATES

CONSULTING ENGINEERS, LONDON

本調査報告書は3つの部分からなる。

『第一部 フランスの炭素異常と日本の原子力発電プラントの相互関係』

(http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/Summary_carbon%20issue_20161025_3.pdf) は、少なくとも一つの日本の製造会社から欠陥のある部材が供給されたことが確認されているフランスの原子力機器サプライ・チェーンにおける状況を考察した。

この第二・第三部結合版は、日本で製造された同様の欠陥のある部材が、運転中の原子力発電所（例えば九州電力川内原発）あるいは、2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の壊滅的な事態以来運転停止となっているが、近い将来再稼働するための準備が進められている原子力発電所に存在するという予測について検討する。

一部の出典文書にアクセスするにはグリーンピース・ドイツのショーン・バーニーに連絡 (Shaun.Burnie@greenpeace.org) し、安全なパスワードを得たうえで、以下の出典文書庫にアクセスされたい。
<http://www.largeassociates.com/CZ3235/3235search.html>

本調査報告書英語版が、正式版である。

1 ST ISSUE	REV N°	APPROVED	CURRENT ISSUE DATE
11 11 2016	R3235-R2		10 DECEMBER 2016

第二部及び第三部

-欠陥のあるクラス 1 部材が日本の原子力発電所に入っている可能性

要旨

2014 年末、フランスの原子力設計・製造会社アレバ社は、原子力安全局（ASN）に対し、フランスのクルゾ・フォルジュ社で製造された部材について実施された材料検査の結果を報告した。これらの検査は、アレバ社が現在フラマンビル 3 号原子力プラント（NPP）で建設中の欧州加圧水型炉（EPR）の部材に関して、大きく遅れていた Qualification Technique（QT）（技術認証）の一環として実施したものである。

驚いたことに、検査結果は、材料特性——とりわけ、衝撃・破壊靱性——が設計基準仕様を満たしておらず、さらに、それは、原子炉容器の上蓋の厚さのほとんどにおいて存在する大きな正マクロ偏析領域で、炭素濃度がわずかではあるが、それでも重要な意味を持つ程度に増加していることから来ている。これは、いわゆる「carbon anomaly（炭素異常）」で、受容することのできない合金鋼の脆弱性をもたらし、急速な壊滅的破壊に至る可能性がある。このような事実の発覚を受け、ASN は、部材の製造における過去の慣行の調査を命じた。この調査の結果、品質保証と部材の適合性に問題があるだけでなく、このような欠陥のある部材が数多くフランス各地の供用中の NPP に取り付けられていることが明らかになった。ASN は、これらの不確実性をまとめて「irregularities（不規則事象）」と呼んでいる。

フランス全土で NPP を運転する唯一の会社「フランス電力会社（EDF）」は、直ちに供用 NPP の安全性について評価するよう求められた。EDF の非常に予備的な安全評価報告を 2016 年 6 月に受けた ASN は、12 基の NPP が危険に曝されていると判断し、これらの NPP を厳格な予防措置的条件下でのみ運転するよう命じた。ASN はのちにこれを撤回し、これら 12 基の NPP すべての運転を停止するよう命じた。これらの NPP の強制運転停止の理由は、それぞれが、異常に高いレベルの炭素濃度と大幅に低減した材料靱性を有する部材の入った蒸気発生器（SG）を設置しているからというものである。

日本供給の蒸気発生器部材：ASN が危険に曝されているとした 12 基の NPP に共通する特徴は、いずれも、日本鑄鍛鋼株式会社（JCFC）——そして、ひょっとしたら日本製鋼所（JSW）——が日本において製造した巨大な鍛造部材を含む取替用蒸気発生器（SG）を使っているという点である。これらの部材——ボトム・チャンネル・ヘッド（水室）、チューブシート（管板）、および頂部楕円形ドーム——はすべて、マクロ偏析領域を持っていると見られており、炭素濃度が高くなっている可能性がある。EDF は最初に、その暫定的検査の結果は最大過剰炭素濃度が 0.3% に達することを示唆していると報告した。これは、設計仕様の 0.22% を約 50% 超えるものである。これに基づき、ASN の独立アドバイザー「放射線防護・原子力安全研究所（IRSN）」は、予定されている運転停止によって日本鑄鍛鋼の部品に関するさらなる検査が実施できるまでは、追加的条件や「補整」措置を実施することによって壊滅的な破壊及び燃料溶融のリスクを軽減することが可能と判断した。

燃料取替のための運転停止が予定されていてもっと徹底的な検査ができる最初の NPP は、トリカスタン 1 号及び 3 号機である。これらの NPP における日本鑄鍛鋼のボトム・チャンネル・ヘッドに関する暫定的非破壊検査結果は、驚くべき 0.39% という炭素濃度レベルを示した。最大許容レベルよりほぼ 100% 高い数値で、これがもたらす材料強度の低減のため、この部材は高速破壊を非常に起こしやすい。IRSN は、この非常に高い炭素濃度のため、その分析を修正し（2016 年 10 月 18 日）、ASN に対し、日本鑄鍛鋼の蒸気発生器部材が使われている NPP のうち 1 基を除くすべての運転停止を命じるよう勧告した。

11 月末、IRSN は、EDF の 2 度目の提出文書の評価を行った。この文書は、その一般的な「実証アプローチ」をさらに詳細化し、制限と「補整的」措置を講じれば JCFC の SG チャンネル・ヘッドを取り付けた NPP を安全に運転することが可能であるかどうか示そうというも

のである。これは、設計基準仕様を満たさない部材に関するフランスの法律の下で許されているオプションである。IRSN は EDF の一般的な「実証アプローチ」を受け入れはしたが、ASN に対し、EDF の評価は不完全だと助言した。これを受けて、ASN は EDF に対し、2016 年 12 月 5 日に指令を出し、JCFC の SG 部材を取り付けた NPP の再稼働の妥当性を示すための 13 の要件を提示した。この ASN の指令の中には、120 トンの鋼塊を—複数のボトム・チャンネル・ヘッドのフルスケールの「犠牲」レプリカとともに—新しく JCFC が製造するという点があった。炭素濃度のマッピング、化学分析、物理的テストのためである。

この要旨を書いている時点では、JCFC の部材を有する選択されたフランスの NPP がレプリカの分析及びテストの前に再稼働を許されるのか、また、12 月 5 日の指令の他の前提条件が解決されることになるのか、まったく分からない。

本調査報告書は、フランスで現在進行中の検査・テスト計画、「原子力セーフティー・ケース」の再評価などを検討する。最終的結果は 2017 年半ばまでは出ないと見られている。それまでは、JCFC の部材を持つすべての NPP は運転停止のままとなる。ASN の調査が進むに従って、フランスのクルーズ・フォルジュ社における記録改竄行為が明らかになってきており、不正行為には名前が明らかにされていない外国の鍛造会社も関わっている。設置を待っていた 3、4 基の取替 SG 完成品が炭素異常のために廃棄されたと見られている。フランスでは第 2 期取替プログラムの SG 部材—チューブシート（管板）、楕円形ドーム、ボトム・チャンネル・ヘッド—のテストが現在進行中である。これらの部材の中には、JSW 供給のものがあるかもしれない。

本調査報告書第一部は、規制の抜け穴があって、どういうわけかこれらの部材がフランスのサプライ・チェーンに受け入れられてしまったとの結論を下した。そして、これが発生したということは、欠陥のある部材が何らかの形で日本製鍛鋼の品質保証管理と安全確認体制をすり抜けたということである。

言い換えると、フランスでの問題をもたらしたこの組み合わせは、全面的に日本で発生した 3 つの要素を含んでいる可能性がある。i) 欠陥のある部材は、全部が日本で製造された。ii) 欠陥部材が製造場所から出ていくのを防ぐべきだった品質管理保証体制が機能しなかった。iii) 製造・分析・テスト記録が ASN やアレバによって認証目的で検証されなかったか、されたとしたら、記録が部材の適合性・特性を正しく反映していなかったか、あるいはその両方である。

本調査報告書の第二部及び三部は、日本で製造された同様の欠陥を持つ部材が当時（1980 年代及び 90 年代初期）の日本の規制当局により探知されないまま原子力機器サプライ・チェーンに入り込んでしまったかもしれないという推測について検討する。

2016 年 8 月、日本の原子力安全規制当局「原子力規制委員会（NRA）」は、日本の NPP に組み入れられているクラス 1 の鍛造部材の調査要件を提示した。これは、次のような構成になっている。まず、NRA によるそれぞれの NPP 運転者との面談；マクロ炭素偏析領域を含んでいる可能性があると思われるクラス 1 鍛造部材に関する運転者による評価の受領；必要と判断された場合は、リスクがある個別 NPP の運転者によるリスクの評価。別途、自らの意思によるようだが、JCFC、JSW、JFE によるそれぞれの鍛造工場の製造工程に関する報告の提出がされた。

NRA 自体が設立されたのは 2012 年のことである。つまり、日本で製造された鍛造クラス 1 部材のほとんどすべてが日本のサプライ・チェーンに入った後のことである。関心対象となる時期は、規制枠組みが「原子力安全基盤機構（JNES）」と当時の原子力安全規制当局 NISA の指揮下にあった時である。両組織は、東京電力福島第一原発の事故の後、信用を失い、解体された。従って、おそらく驚くべきは、NRA が、元々の製造記録だけに運転者らが依拠することを許し、問題の部材の原位置検査・試験を命じなかったことであろう。

部材がリスクを抱えているか否かを定める「審査手順」は 4 つのステップからなるものだった。最初の 3 つのステップは、運転者（例えば九州電力）に対して求められているもので、

残存マクロ偏析が製造段階から生じていたか、除去されたかを明らかにし、部材のおける不均一性が許容レベルのものかどうかを判断するためのものである。これらの単純な基準のどれも満たすことができなければ、最後のステップDは、物理的分析（化学的分析、サンプルの切り出し、など）による評価の実施、または、元の鋳塊の炭素予測などの予測式的アプローチの提示、あるいはその両方を求めるものだった。

言うまでもなく、最初の3つのステップは、電力会社のNPP運転者らが経験も専門性も持っていないし、持っているとしても期待のしようのない元々の製造プロセスのみに関わるものである。実際、運転者に期待できるのは、鍛造メーカー—JCFC、JSW、それに、JFE（の前身企業）など—から、何十年も前でないとしても、何年も前に渡された元の製造記録を見ることだけである。

一方、鍛造メーカー（JCFCなど）の側は、製造プロセスについていささか曖昧な記載を提出した。部材ごとのものでもなく、意味のある化学分析も物理的テスト結果も示さず、元の文書に部分的なデータがある場合も、それは「編集」[削除]されていた。興味深いことに、JCFCはフランスに輸出されたSG用の欠陥のあるボトム・チャンネル・ヘッドについては主として文章による説明をある程度提供して（そしてその際にその鋼塊の不均一性予測モデルは信頼性の低いものであると示して見せて）おきながら、日本のNPP用に同社が製造したSG部材—ボトム・チャンネル・ヘッドを含む—についてはまったく言及していない。同様に、JSWとJFEは、両社がそれぞれ日本のNPP用に製造したSG部材に関する詳細を提供していない。

だから、全体として、運転者や鍛造メーカーによる回答は、欠陥のある部材が日本の原子力機器サプライ・チェーンに入ったかどうかに関する不確実性問題を解決できていない。実際、NRAは、主として製造方法に基づき、クラス1部材における不均一性の可能性はないとして片づけているが、JCFC、JSW、及びJFEによる回答は、マクロ偏析不均一性が鍛造前の鋼塊に発生したことを、そして、さらには、JCFCとJSWがこのために炭素濃度予測モデルを使ったことを明確に示している。

本調査報告書の結論は、欠陥のある部材が日本のNPPに取り付けられているリスクの問題は、まだ、満足のいく形で解決されていないというものである。供用中のNPPにおける徹底的な検査及びテスト・プログラムが実施中のフランスと異なり、NRAは、取り付けられた部材の原位置検査及び物理的試験またはそのレプリカの試験、あるいは両方を要求するには至っていない。

過去の製造記録—中には30年も前のものもある—にのみ依拠し、化学分析や材料物理テストによる最も初歩的なクロスチェックもしないというのでは、取り付けられた部材に靱性の低下した領域があるという現実的な可能性を見逃してしまう恐れがある。PWR型及びBWR型の軽水炉の一次冷却系の主要な部材のすべては鍛造品であり、従って偏析領域の残存の可能性を伴う。このような領域の存在の可能性があるとすると、それは「原子炉運転セーフティー・ケース」に関わる問題を提起し、フランスで現在やっているように、これを再検討し改定する必要がでてくる。このような不確実性と、深刻な部材破損の可能性に鑑み、賢明な道は、フランスの安全性規制当局ASNの採用したアプローチに倣い、日本の軽水炉に組み入れられている関連のある部材すべてについて物理的テストを要求することだろう。

ジョン・ ラージ
ラージ・ アソシエイツ
JOHN LARGE
LARGE ASSOCIATES
CONSULTING ENGINEERS, LONDON

略語、頭文字及び用語

ACENPE	原子力耐圧機器専門家諮問委員会
AREVA (アレバ)	原子力機器及びプラントを専門とするフランス政府所有の企業
ASME	アメリカ機械学会
ASN	<i>Autorité de Sûreté Nucléaire</i> - 原子力安全局
ボトム・チャンネル・ヘッド	SGの部材：SGの一番下の蓋（ボトム・ヘッド）で、原子炉一次冷却系に繋がる
BPVC	ASMEのボイラ及び圧力容器規格
break precluded 破壊除外	典型的には、「原子力セーフティー・ケース」では、原子炉一次冷却系の主要耐圧部材は「破壊除外」と見なされていて、それぞれ、いかなる信憑性のあるシナリオにおいても壊滅的な破壊はしないという前提になっている。これらの部材の中には、RPV、SGのチューブシート及びボトム・ヘッド、加圧器、主要配管が含まれる。
BWR	沸騰水型炉
C%	合金鋼内に存在する炭素の割合（パーセント：重量）。一次冷却系のクラス1・N1部材の典型的なC%は、0.22%以下である。
carbon anomaly 炭素異常	ASNの作った用語で、正マクロ偏析領域の形成の結果合金鋼のミクロ構造内に見られる過剰炭素を意味する。
Certificate of Conformity 適合認証	ESPN品質管理措置の一環としASNが付与する認証。
Charpy Test シャルピー試験	シャルピーは、破壊における吸収エネルギーにより強度特性を測定するために、切込みを入れた鋼の試験片を破壊する重りについた振り子によるテスト。
Class 1 クラス1	日本の原子力プラントに関する設計・調達規制コードは、原子炉一次冷却系のすべての部材はクラス1 - フランスのRCC-M規格におけるN1に相当 - とすることと定めている。
CP0, CP1, CP2	フランスのPWRで900MWeシリーズのNPPの亜種
CPGFO	JSMEの発電用設備規格委員会
DEP	フランス原子力圧力容器局
Discard ディスカード	鍛造プロセスにおいて、ディスカードとは、製造されたビレットから好ましくない不純物を除去するために切り取って捨てられるもの。
EDF フランス電力	<i>Électricité de France S.A</i> - フランスの国家所有の電力会社
elliptical dome 楕円形ドーム	SGの部材：SGの最上部蓋で、蒸気側の冷却系に繋がる。
EPR	欧州加圧水型炉
ESPN 原子力耐圧機器	<i>Équipements Sous Pression Nucléaire</i> - 2005年12月12日付原子力耐圧機器（ESPN）用指令 - FR(24FF4V)
FA3	フランス大西洋岸北部のフラマンビルで現在建設中のEPR型NPP
forging ratio 鍛造比	用意した鋼塊の超過体積で、これにより、ビレットの望ましくない部分を切り捨てることのできるようになる。
HCTISN	<i>Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire</i> - 「原子力安全情報と透明性に関する高等委員会」
Irregularities 不規則事象	ASNが作った用語で、「製造ファイルにおける製造、パラメーター、テスト結果に関連した矛盾、修正、漏れからなる」。
IRSN	<i>Institut de Radioprotection et de Sûreté</i> 「放射線防護原子力安全研究所」
J	ジュール：誘導単位 - 1 ニュートン・メートル(N-m) = 1J
JCFC	Japanese Casting and Forging Corporation 日本鑄鍛鋼株式会社
JFESC	Japanese JFE Steel Corporation 「JFEスチール株式会社」 ---旧川崎製鉄(KSC)
JNES	Japan Nuclear Energy Organisation 旧「原子力安全基盤機構」
JSME	Japan Society of Mechanical Engineers 「日本機械学会」
JSW	Japan Steel Works 「日本製鋼所」
lower head	PRVの最下部の部材。半球形の鍛造物でRPV本体に溶接されている（下鏡）

ローワー・ヘッド

LSD	Lingot a Solidification Dirigée -クルゾ・ フォルジュにおける鋼塊鑄造技術
macrosegregation zone マクロ偏析領域	冷却プロセスの結果、炭素のような合金構成物がミクロレベルで過剰に凝固 (正マクロ偏析) したり、減少したり (負マクロ偏析) した体積的領域。
MWe	MegaWatt electricity メガワット電力 電力の単位 : 1 MWe = 1,000,000 ワット
N1	フランスの原子力機器は、破損があった際に放出されうる放射能の量に従って、N1、N2、N3 に分類されている。原子炉の一次冷却システムの分類は N1 である。
N4	フランスの PWR 型 1450MWe の NPP のシリーズ名
NDI	Non-Destructive Inspection (or Examination) 非破壊検査
NISA	Nuclear and Industry Safety Agency -旧「原子力安全・保安院」
NPP	Nuclear Power Plant 原子力発電プラント
NRA	The Japanese Nuclear Regulatory Authority 日本「原子力規制委員会」
NRC	Nuclear Regulatory Commission - 「原子力規制委員会」 米原子力安全規制当局
Olkiluoto 3	オルキルオト 3 号 : フィンランドのオルキルオトで建設中の EPR 型 NPP
ONR	Office for Nuclear Regulation 「原子力規制局」 - 英国の原子力安全性当局
OES	Optical Emission Spectrometry 光学発光分光法
PCSR	Pre-Construction Safety Report 建設前安全報告書 - 英国の原子力許認可過程の一つ
PED	European Pressure Equipment Directive 欧州圧力機器指令 97/23/EC
PELLINI	鋼の亀裂に対する耐性を測る機械試験
PWR	Pressurised Water Reactor 加圧水型炉
QAM	Quality Assurance Manual 品質保証 マニュアル
QA	QAM の下における品質保証マネジャー
QC	QAM の下における方法/管理マネジャー
QT	Qualification Technique - Technical Qualification 技術適合認証
RCC-M	ASME の加圧容器規格のフランス「版」。設計基礎のリミットを定める。耐圧機器の機械的設計基準を確立することを主として目指したもの。ただし、RCC-M は、品質保証要件も含んでいる。たとえば M140。製造ルートの方法及びその管理は、当該製造ルートが ASN (DEP) によって詳細に検討された後、DEP による適合認証の対象となる。米国は ASME を採用し、フランスは RCC-M、日本は、ASME と国内の JSME (日本機械学会) を採用している。
RPV	Reactor Pressure Vessel 原子炉圧力容器
RT _{NDT}	Ductility transition reference temperature 延性遷移関連温度
SG	Steam Generator 蒸気発生器
Steamside スチームサイド	スチームサイドとは、独立した蒸気復水系で、タービン交流発電機に蒸気を送り、動力を提供する。蒸気は、復水を SG 内の一次冷却系のチューブ・バンドル (管束) の外側を走らせることによって発生させられる。
strand casting ストランド鑄造	ストランド (連続) 鑄造では、熔融鋼が連続的にストランドに流し込まれ、水冷加圧ローラーにより制御された条件の下で凝固させる。
Taishan 1 and 2	台山 1 号及び 2 号 中国の台山で現在建設中の 2 基の EPR 型 NPP
Tubesheet チューブシート (管板)	蒸気発生器の中の大きな分離板で、原子炉一次冷却系と、もっと低い圧力で働くスチームサイド系とを分ける。チューブシートには数千の穴が開けられ、蒸気発生器の戻り水の細管のそれぞれがピッタリはまっている。
upper head アパー・ヘッド	RPV の最上部部材 (上蓋)
Upset forging	据込鑄造 : ピレットを並行な板の間に入れて高圧をかけ、ピレットを塑性的に変形する

日本の NPP に取り付けられた一次冷却系部材に関連した事態の進展状況

2016 年夏、フランスの原子力機器サプライ・チェーンに入った主要部材の材料特性の欠陥の発覚の結果、少なくとも 18 基のフランスの原子力発電プラント（NPP）における原子力安全性に関する重要な懸念が持ち上がった¹。これらのフランスの NPP のうちの 12 基には、日本鑄鍛鋼株式会社（JCFC）が供給した鍛造部材が取り付けられている。そして、フランスの原子力安全性規制当局「原子力安全局（ASN）」による詳細の発表が待たれるが、日本製鋼所（JSW）が供給した部材に関するさらなる疑惑がある。

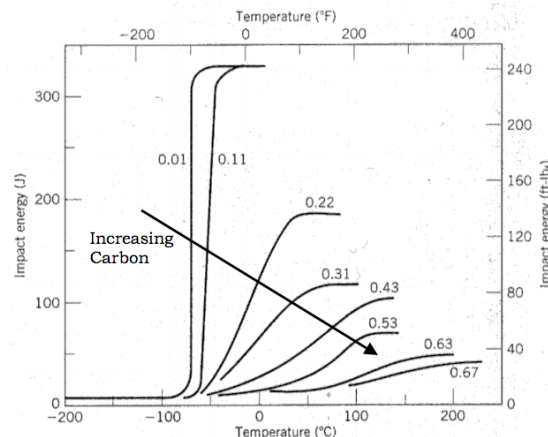


図 1 靱性と炭素含有の関係

この材料問題は、一般的に「炭素異常」と呼ばれる鍛造鉄鋼の粒状構造における欠陥の存在から来ている。基本的に言って、これは、鍛造プロセスの鋼塊鑄造段階で形成された偏析領域が鍛造ビレットから切り捨てられない場合に生じる。偏析領域の一部は、炭素濃度が高く（炭素合金鋼の重量当たり約 0.2% を超え）、それにより、材料靱性を低下させ、鍛造品のそれらの部位は高速破壊及び壊滅的破壊を起こしやすくなる²。図 1 は、炭素含有量の増大とともに靱性が下がる関係を示している。この仮説的な例においては、フランスの原子力機器サプライ・チェーンに入った JCFC の鍛造部材において報告されている 0.22% から 0.39% の炭素濃度範囲で約 50% の低下が見られる。

ラージ・アソシエイツは、最初、2016 年 9 月、フランスで進展している状況について報告し、同様に欠陥のある部材が日本の原子力機器サプライ・チェーンに入り込んだ可能性があるとの疑いを提起した³。先のラージ・アソシエイツの報告以後の大きな進展は以下の通りである。

。 12 基のフランスの NPP に JCFC が供給した基準以下部材（ローワー・ヘッド）が取り付けられていることを ASN が検証

1989 年から 1997 年にかけての期間、アレバ / EDF が 12 基のフランスの供用 NPP において設置した 36 基の取替蒸気発生器（SG）に、現在では深刻な欠陥を持つことが認められている JCFC 供給のボトム・チャンネル・ヘッドが使われている⁴。この情報はラージ・アソシエイツの要請の後、10 月 27 日に ASN によって確認された。[出典文書庫 <http://www.largeassociates.com/CZ3235/3235search.html> の Ref4 の表を参照]

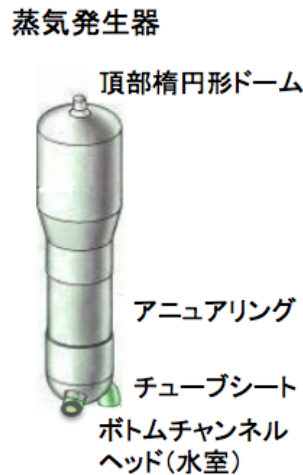


図2 蒸気発生器

○ JCFC の部材を使っているフランスの NPP が運転停止を命じられる

影響を受けた 12 の NPP にある「炭素異常」に関する理解が進むなか、2016 年 10 月に ASN は 7 基の NPP 運転停止を命じる。JCFC のボトム・チャンネル・ヘッドの即座の検査を行うためである。続いて、2016 年 10 月 18 日、ASN は残りの 5 基を 2016 年 12 月末までに運転停止とすることを求める⁵。これらの NPP はフランスの唯一の NPP 運転者「フランス電力 (EDF)」が個々の NPP の運転を再開しても安全だと示して見せられるまで運転停止が続くことになっていた。

当時 (2016 年 10 月) は、運転停止となったこのグループの NPP の調査及びテスト・プログラムだけで EDF とアレバは少なくとも 2017 年春まで手一杯だろうと一般的に見られていた。その後、EDF は、許可「セーフティー・ケース」を準備して、ASN とその諮問機関「放射線防護原子力安全研究所 (IRSN)」及び「原子力耐圧機器専門家諮問委員会 (ACENPE)」の評価を待つことになる。

しかし、11 月末、IRSN は、EDF の 2 度目の提出文書の評価を行った⁶。この文書は、その一般的な「実証アプローチ」をさらに詳細化し、制限と「補正的」措置を講じれば JCFC の SG チャンネル・ヘッドを取り付けた NPP を安全に運転することが可能かどうか示そうというものである。これは、設計基準仕様を満たさない部材に関するフランスの法律の下で許されているオプションである。IRSN は最大 0.32% の外部表面過剰炭素レベルに関する EDF の一般的な「実証アプローチ」を受け入れはしたが、ASN に対し、EDF の評価は不完全だと助言した。これを受けて、ASN は EDF に 2016 年 12 月 5 日の指令⁷を出し、JCFC の SG 部材を取り付けた NPP の再稼働の妥当性を示すための 13 の要件を提示した。これには、フルスケールの JCFC レプリカの新たな製造が含まれていた。JCFC の SG 部材を取り付けている NPP を再稼働することの妥当性を実証するためである。

○ IRSN によるリスクの分析

2015 年 8 月、IRSN は、炭素超過レベルが規定された 0.22% を超え、0.3% に達しているとの EDF の暫定的検査結果からすると、それにより生じる鉄鋼靱性の低下は、JCFC 部材の許容できない高速破壊リスクと壊滅的破壊の可能性を伴うものであると勧告した⁸。続いて行われた EDF の検査の結果、運転停止中のトリカスタン 1 及び 3 号 NPP の JCFC 部材でずっと高い超過炭素レベル $\geq 0.39\%$ が検知された⁹。これを受けてすぐ ASN は残りの

5 基の運転中 NPP を段階的に運転停止にすること、そして、運転を続けている間は、高速破壊破損リスクを低減するために厳密な「補整的」措置を講じることを命じた。

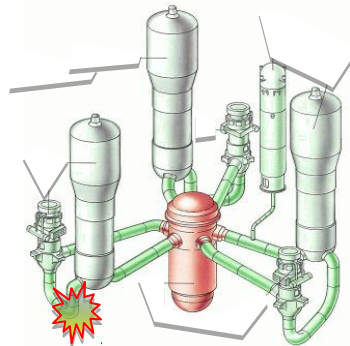


FIGURE 1 LOCA THERMAL TRANSIENT

図 3 LOCA 熱過渡

加圧系における高速破壊を起こしやすい部材（JCFC の SG チャンネル・ヘッド）の存在は、「原子力セーフティー・ケース」に二つの「新しい」異常運転状態を含める必要をもたらす。たとえば、原子炉の冷却系が過渡変化（例えば、一次冷却系における少量の漏れに対応して炉が緊急停止する、低温の補給水が冷却系に注入されるといった場合）の高い発生率に曝されていると、通常は高温 SG チャンネル・ヘッドが低温の水の塊に遭遇し、ヘッドの温度を急激に下げ、壊滅的脆性破壊領域に到達させることになる¹⁰

ヘッドが、例えば原子炉運転開始過渡期において、一次冷却系を回る高温の水の塊に遭遇した場合にも、同様の破損のリスクがある。

高速破壊を起こしやすい部材を取り付けたことが分かっている NPP の安全運転領域が導入されるか、あるいは、少なくともそれに力点を置く必要が出てくるとなると、それは相当の努力を必要とし、時間がかかる。そのため、これらの NPP の運転継続を EDF が正当化しようとするれば、IRSN と ACENPE による評価に数か月かかりそうである。ASN がこの特殊な運転状況について規制の立場を決められるのはその後のことである。

現在運転停止中の JCFC チャンネル・ヘッド使用 NPP には二つのオプションがある。第一に、暫定的に、例えば、個々の NPP が制限・「補整的」措置下での再稼働（すなわち、0.32% の炭素濃度という閾値以下）[文末注 6 参照] が認められると、フランスにおいて原子力発電容量が相当——それでもすべてではない——復活する¹¹。ただし、「補整的」運転の下で、再稼働した NPP は負荷追従・周波数調整の役割において相当厳しい制約を受けることになるかもしれない。一方、影響を受けたフランスの 12 基の NPP の一部またはすべてが 2017 年夏の半ばまで運転停止状態が続くことになるかもしれない。さらに、これらの欠陥のある JCFC の部材によって導入された不確実性とリスクが極めて深刻だと評価された場合には、NPP は、蒸気発生器がそっくり取り換えられるまで運転停止のままとなるかもしれない。この取替プロセスは、2016 年 12 月 5 日のステートメントにある通り、EDF も 2 年から 3 年の遅延を起こしうると認めている。

○ JCFC の欠陥のある部材の確率について ASN が計算

当初（2015 年）、EDF は、欠陥はおそらく少数の JCFC「はぐれ不良」部材に限られてのものとなるだろうと主張したが、運転停止を命じられた NPP での検査が進むにつれ、最初に得られた検査結果が、ボトム・ヘッドを一つ一つ検査したところすべてのヘッドにマクロ偏析の存在が確認されたということを示した。つまり、欠陥部材率は 100% だった [文末注 4 参照]。

○ JSW が欠陥部材を供給したかもしれないとの疑念を ASN が提示

日本製鋼所（JSW）の欠陥部材が取り付けられている可能性について ASN が二つ提示している。第一は、フラマンビル 3 号の蒸気発生器用に JSW が供給した部材について発見された数々の「不規則事象」（一般的に、不正記録と理解されている）に関連したものである。第二は、フランスの 1300MWe シリーズの NPP 用の第 2 期取替蒸気発生器プログラム用の a) チューブシートと b) 楕円形ヘッド部材における過剰炭素偏析の相当範囲の広がりに関連したものである¹²。2016 年 5 月、アレバは第 2 期プログラムでの設置を待っていた 3 基または 4 基の蒸気発生器を廃棄することに同意した。ボトム・チャンネル・ヘッド部材における過剰炭素の「遅ればせながらの」発見のためだという。JSW は幾分かチューブシートとボトム・ヘッド部材を供給しているが、これらの JSW 供給部材が過剰炭素領域を有しているものであるかどうか明確に特定することはできない。ASN のこの面でのさらなる情報が待たれるところである¹³。

しかし、これまで公表されていない（訳注：ASN の）文書で、フランスの原子力機器サプライ・チェーンに欠陥のある JSW の部材が入っていることを暗示するものがある。これらの文書の第一のもの¹⁴は原子炉圧力容器部品の製造手順の省略・非順守・非適合などに関連するものである――4 つの蒸気発生器の楕円形ドーム、ボトム・チャンネル・ヘッド、チューブシートのそれぞれと、加圧器に関するものである。そして、第二の文書¹⁵は、他の N1 耐圧機器部材のうち、3 つの蒸気発生器部材が関係しているものである。

“... Vous avez indiqué, dans les dossiers de qualification technique de plusieurs composants, que vous ne pouviez garantir les valeurs de caractéristiques mécaniques indiquées dans l'arrêté ESPN en tous points et avez transmis à l'ASN d'ââes justifications de l'absence de conséquences de cette différence. Ces justifications concernent des vannes d'isolement vapeur (MSIV) destinées à l'EPR Flamanville 3 et certains composants de générateurs de vapeur. . .”¹⁶.

とりわけ興味深いのは、Annex 3 [文末注 15 参照] である。これは、チューブシートの突然の破裂のリスクと連続的なチューブシートの「再現性」、それにボトム・チャンネル・ヘッドのテスト結果の欠如などの問題を提起している¹⁷。ただし、これらはフランスのクルゾ・フォルジュで製造された部材にのみ関連したものであるのかもしれない。

ASN は、原子力発電の許可対象である EDF の契約者のフランスの主契約者アレバとしかやり取りしないので、この許可関連やり取り [文末注 15, 17 参照] において JSW はフラマンビル 3 号機の蒸気発生器部材（チャンネル・ヘッド、楕円形ドーム、チューブシート）の供給者として名指しされていない。しかし、JSW は他の ASN の発表文書類 [文末注 12 参照] においては供給者として特定されており、JSW 自体がフラマンビル 3 号 NPP にこれらの SG 部材を供給したことを認めている¹⁸。

○ ASN、議会公聴会で文書改竄の証拠を明らかに

2016 年 10 月、「科学・技術オプション評価議会オフィス(L'OPECST)」による審査のなかで ASN は例外的とは言えないケースとして、クルゾ・フォルジュにおける製造及びテスト結果記録の改竄例を二つ挙げた^{19, 20}。後者の例（図 4）は、あたかも、重

要な材料靱性（及び伸び％）が個別及び平均のそれぞれの要件 60J 及び 80J を満たせるようにするかのように、露骨に改竄されていることを示している²¹。もし、元々、部材がこれらの改竄前のテスト結果とともに提示されていれば、はねられて廃棄されていたであろうことは間違いない。

Dossier archivé par Creusot Forge							
REPERE	SENS PRELEVEMENT	TEMPE	ENERGIE de RUPTURE (IMPACT ENERGY)			FERROSITE	EXPANSION
ITEM	ORIENTATION	RATURE	IMPOSEE	RESULTATS	MOYENNE	DUCTILE	LATERALE
NR	PROBENLAGE	°C	REQUIREE	RESULTS	AVERAGE	FRACUTURE	EXPANSION
		TEMP	SCHEM	EMITTE	MITELMERT	%	seitliche ausdehnung
Z5887							
VD1	Circonférentiel (Longitudinal)	0°C	≥ 80 Moy.	170	159	80	2.2
VD2	"	"	≥ 60 Indi.	139		50	1.8
VD3	"	"	"	167		75	2.1
AD1	Axial (Travers)	0°C	≥ 80 Moy.	42	83	5	0.7
AD2	"	"	≥ 60 Indi.	42		5	0.7
AD3	"	"	"	165		70	2.2

Dossier remis à l'ASN							
REPERE	SENS PRELEVEMENT	TEMPE	ENERGIE de RUPTURE (IMPACT ENERGY)			FERROSITE	EXPANSION
ITEM	ORIENTATION	RATURE	IMPOSEE	RESULTATS	MOYENNE	DUCTILE	LATERALE
NR	PROBENLAGE	°C	REQUIREE	RESULTS	AVERAGE	FRACUTURE	EXPANSION
		TEMP	SCHEM	EMITTE	MITELMERT	%	seitliche ausdehnung
Z5887							
VD1	Circonférentiel (Longitudinal)	0°C	≥ 80 Moy.	170	159	80	2.2
VD2	"	"	≥ 60 Indi.	139		50	1.8
VD3	"	"	"	167		75	2.1
AD1	Axial (Travers)	0°C	≥ 80 Moy.	98	128	25	1.5
AD2	"	"	≥ 60 Indi.	120		40	1.7
AD3	"	"	"	165		70	2.2

図 4 クルゾ・フォルジュのテスト結果記録の改竄（ASN の資料より）

FIGURE 2 LE CREUSOT FALSIFICATION OF TEST RECORDS

ASN は、また、クルゾの社員が改竄前のマスター記録の入ったファイルを特定したと明らかにした。これらのファイルのフォルダー・カバーには交差した棒の印が秘密で付けられていて、このことは一部のクルゾ社員しか知らなかったのである²²。このような「不規則事象」の対象となりうるファイルの数は、数千に上り、現在調査中と見られている。この件は、すでにフランスの検察当局に報告されたと考えられている。

従って、2016 年 10 月半ばまでには、フランスの原子力機器サプライ・チェーンに過剰炭素欠陥を持つ JCFC 供給部材が間違いなく入り込んだことは認められるようになっている。今日まで検査された JCFC の部材はすべてこの欠陥を持っているので、第 1 期蒸気発生器取替プログラム（1989～1997 年）用に供給された JCFC の部材でまだ検査されていないものはすべてこのような欠陥を持っていると見ていいだろう [文末注 4 参照]。一般的工学的診断は、このような過剰炭素（規定の 0.22% を超える $\geq 0.39\%$ ）を持つ N1(クラス 1 に相当)の原子力安全重要部材は、目的に適合しておらず、供用から永久的に外すべきというものである。IRSN は 0.32% の炭素濃度を、とりわけリターン・レグ・ノズル部分では、上限とし、それ以上では EDF の一般的な「実証アプローチ」を無効とするよう提言した。それでも、この閾値未満の NPP も制限及び「補正的」措置を講じて運転することを要求されることになる。

ここで重要なのは、欠陥のある JCFC 部材が、どういうわけか、ASN の規定したフランスの品質管理チェックのすべてをすり抜けたということである。これらの ASN の QA（品質保証）要件は、JCFC の北九州工場におけるフランスの拡大原子力安全規制体制（RCC-M140 など）²³の一部として委嘱されていたはずである。欠陥のある部材は、また、JCFC の工場から搬出される前に JCFC 自身の品質管理体制をすり抜けて、探知されないままフランスに入り、蒸気発生器に組み込まれ、全部が N1 試験合格証明書（RCC-M140 適合）を得て、供用中の NPP 内に設置されたのである。

欠陥のある JCFC 部材の存在が知られた今、ASN はフランスの運転者 EDF に対し、様々な措置を実施するよう要求している。

- 1) JCFC の製造ルートに関する記録—材料特性データ (M140 分析・試験結果) を含め—の提出。
- 2) 組み入れられた JCFC 部材の物理的検査。表面の炭素含有濃度を調べる光学発光分光法、表面の欠陥をチェックする超音波検査・液体浸透探傷検査を含む。また、EDF は元々の製造の際の元のテスト・リングから切り取られた多数の「切り取り試片」のシャルピー (靱性) 試験を実施したが、実施する予定と考えられている。
- 3) JCFC の SG 部材の鋼材破損に関連した靱性特性の低下 (高速破壊の可能性) についての完全なリスク評価。それに、JCFC の SG ボトム・チャンネル・ヘッド部材の温度衝撃 (極端な高温・低温の両方) に関わる二つの新しい、これまで不必要と考えられていた運転シナリオ²⁴の考慮。
- 4) JCFC 北九州工場における、炭素濃度マッピング、分析および物理的検査のため、120 トンの鋼塊 1 体とボトム・チャンネル・ヘッドの「犠牲」レプリカ部材数体の新たな製造。

フランスにおける現在の状況は、JCFC の SG 部材の取り付けられた 7 基の NPP が運転停止となっており、ASN が各 NPP について臨界の再開を許可するまで停止状態が続くというものである。さらに、JCFC 部材の使われているほかの 5 基の NPP がすべて、2016 年 12 月末までに段階的に運転停止となることになっており、同様に、JCFC 部材の原位置検査が行われ ASN がこれらの再稼働を許可するまで運転停止のままとなることになっている。これらの 12 基の NPP は、IRSN の推奨する限定的な運転と「補整的」措置の下で、適切な場合には、運転を継続したり、再稼働したりすることを許されるかもしれない。ASN の EDF に対する指令にある 13 の前提条件が満たされれば、の場合だが、これは、2016 年 12 月初旬から 1 週間程度のうちか、あるいは、ずっと遅く、2017 年半ばになるかもしれない。

また、第 2 期取替 SG プログラム (1300WMe シリーズの NPP) で設置された取替蒸気発生器もまた原位置検査の対象となると考えられている—これらに JSW 供給の SG ボトム・チャンネル・ヘッド、楕円形ドーム及びチューブシート部材が入っているか、入っていないかは分らない。

日本の原子力機器サプライ・チェーン

日本の原子力規制委員会 (NRA) の関わりは、少なくとも公式な形では、2016 年 9 月に東京で開かれた ASN と NRA の間の予め組まれていた会合とともに始まった。

○ ASN と NRA の共同ステートメント - 東京、2016 年 9 月 12 - 13 日

2016 年 9 月、ASN は日本 NRA と会合を開き、スライド・プレゼンテーションの形で二つの部分からなるステートメントを発表した²⁵。

ASN は、JCFC の欠陥の深刻さを論じたが、JSW の不適合部材の可能性については軽く扱った。その後、ASN は JSW の製造プロセスがマクロ偏析領域の排除と不均一性の不在を「保証」しているとの見解についてその根拠を求められた際、これを修正した [文末注 4 参照] 。

ASN は数々の偽造、詐欺的、基準以下のアイテム (CFSI) がフランスのサプライ・チェーンに 2015 年末以来入り込んでいたことに言及した [文末注 4 参照] 。これらの CFSI のうち、一件はクルゾ・フォルジュのものであり、二つ目は、もう一つの名前の明らかにされていないフランスの鍛造工場、三つ目は名前の明らかにされていない外国の

供給者におけるものであることを発表した[文末注4参照]。このCFSIの起きた外国の供給者については、基本的に二つの可能性がある。JSWと英国のシェフィールド・フォージマスターズである。JCFCが除外されるのは、同社は現在(2015~16年)、フランスのNPP部材の供給契約を有していないと考えられているからである。

一方、NRAは、ほとんど悪びれることもなく、偏析のある鍛造部材が日本の原子力機器サプライ・チェーンに入り込んだ確率は非常に低いと述べた。その様々な理由の中には、高いと主張される製造基準、そして、部材の多くはプレキャスト・スラブあるいは鋼板の熱間成形によって製造されており、従って、本来的にマクロ偏析領域が入らないというものがあつた²⁶。NRAは、様々な部材のメーカーと製造プロセスをまとめた表を提示したが、日本のPWR型NPPの蒸気発生器の様々な部材の詳細を明らかにしていない。

日本のNPP運転者がデータを全く提出していない時点でも、NRAはマクロ偏析領域の残存の可能性を軽視した。その根拠は主として、日本で使われている製造技術はマクロ偏析をもたらすプロセスを含んでおらず、従って、最初の段階における偏析形成の原因が除去されているというものだった[参照文献3のアペンディックスVの表6を参照]—これらはすべて、JCFCが製造してフランスに供給した36基ほどのSGボトム・チャンネル・ヘッドの一つ一つがマクロ偏析領域と不均一性の深刻な欠陥を持つことが示されているという動かしがたい事実から不誠実に目を背けるものである。

ASNとNRAの間の会合の予定外の結果は、日本の原子力規制委員がパリのASNを10月半ばに訪問したことによる。ただし、これらの2国の規制機関の間の会合の議題も、共同のステートメントも、どちらの機関によっても発表されていない。

2016年10月17日付のJCFC、JSW、JFE(JFEホールディングス)それぞれの提出物を集めた文書をNRAは発表した²⁷。この文書はこれらの原子力耐圧機器メーカーのそれぞれで採用されている製造プロセスに関する情報を提供している。

○ 日本鍛造鋼株式会社 - JCFC

フランスに供給された部材：大型の何トンもの重さの部材については、JCFCは一体の従来型鋼塊を据込鍛造し、最終的部材設計仕様に合わせて機械加工する。例えば、フランスに供給されたSGボトム・チャンネル・ヘッドのグロスの鋼塊トン数は120tだった。ただし、最初の4つのチャンネル・ヘッドは90tの鋼塊から鍛造されたと考えられている。

鋼塊 casting・冷却過程で、鋼塊の押湯・上部において、ニンジン形状のマクロ偏析領域が出現し、この部分の炭素濃度が高まる。鋼塊のトップの押湯部における正マクロ偏析領域形成部を鋼塊から切り取るための量を定めるために、JCFCは、他の鍛造メーカーと同じく、過去の経験に基づいた予測式アプローチを採っている。

基本的には、採用されたモデルは、鋼塊のとりべ分析組成と比べ、押湯及び鋼塊本体上部の中央部で炭素濃度が高くなることを想定している。鋼塊の軸心部におけるこの逸脱状態は青い線で示されている(図5) サンプルング・ポイントが軸心から外れるに従い、過剰炭素濃度は下がる。

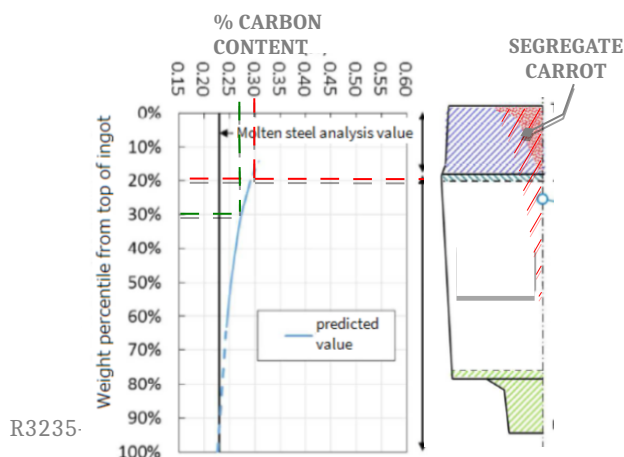


FIGURE 5 JCFC CARBON PREDICTIVE MODEL FOR 135T INGOT

図5：JCFCの「135t低合金鋼の鋼塊軸心部における予測値例」図(JCFC資料より作成)

この135tの鋼塊の例では、溶鋼の炭素濃度は0.23%だが、「トップサイド」の重量比20%までの深さの実際の炭素濃度は約0.30%である(図5中の赤線---)。従って、鋼塊(右側)が、鋼塊の頂部から重量比30%のところまで切り取られたとすると、ブルームに残っている最大炭素濃度は0.27%となる(図5中の緑線---)。ブルームの深いところまで進むにつれ、その値はさらに下がる。鋼塊の底部には、負マクロ偏析が、より浅い状態で形成される。この部分では炭素濃度が下がる。これも、据込鍛造する最終的ブルームでは切り捨てられる

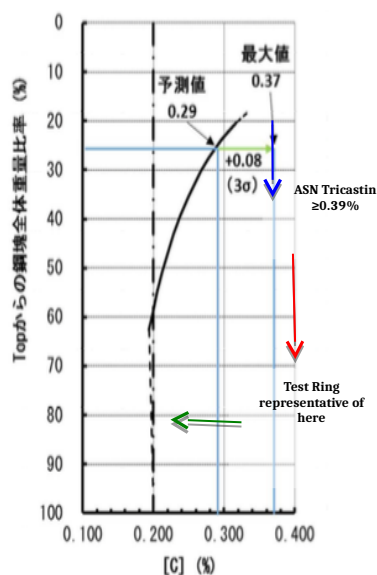


FIGURE 6 JCFC PREDICTION APPLIED TO FRENCH SG BOTTOM HEAD

図6 JCFCの最大炭素濃度予測モデル(JCFC資料より作成)

このディスカード・アプローチは、常に、据込鍛造用のブルームに幾分かの正マクロ偏析領域を残すことになる。しかし、据込処理(すなわち、ローラーを通す高圧形成など)は機能し、マクロ偏析領域をそれが形成される鍛造ブランクの表面に分散させ、そのため、比較的薄い層となり、これをブランクの熱間形成前に機械加工により切削し、そして最後には、鍛造部材の仕上機械加工によりまた減らすことができる。

フランスに供給されたSGボトム・チャンネル・ヘッド部材では、鋼塊のグロス・サイズは120tで、そのうちトップ側ディスカード量は20%で、機械加工切削量は約6%だった。このサイズの鋼塊に関するJCFCの予測モデル(図6)では、トップ側の26%のディスカード(切り取り+機械加工)で0.29%の炭素濃度となると計算された。実際は、JCFCは、トリカスタン1号及び3号機のSGボトム・チャンネル・ヘッドについてASNが報告しているのが $\geq 0.39\%$ であるのに対し、最大値0.37%と評価した。

これらの結果はいろいろな意味で 憂慮すべきものである。

まず、もしこの予測モデルが、フランスの SG ボトム・チャンネル・ヘッドの製造に適用されていれば—そして適用されなかったと信すべき確たる理由はない—当時の炭素濃度予測レベル 0.29% と極めて明白な不均一性のアレバの仕様を満たしたはずがない。つまり、部材は廃棄処分となったはずである。

第二に、JCFC の評価 (あるいはテスト) 値 0.37% が、いつどこで得られたものかが明らかでない。もし、この結果が製造時に—例えば第一あるいは第二機械加工ラウンドで集められた切削くずの化学的分析から—得られたものであったとすると、部材は廃棄されるべきだった。

図 7 は、おそらくは SG ボトム・チャンネル・ヘッド用に採用された JCFC の鍛造プロセスにおいてマクロ偏析領域の向きと位置が変わっていく様子を示したものである。一部のマクロ偏析領域が残った場合—図 7 で示されている状態—エンジンの根は伸びてブルームに残る (第 2 段階)。そして、ブルームが時計方向に 90 度回転して、据込鍛造によってマクロ偏析領域がブランクの頂部に広がり、これが下加工、荒加工される (第 3 及び第 4 段階)。最後に、荒加工されたブランクが熱間形成用にひっくり返され、マクロ偏析領域は完成した部材の外側表面に残ることになる (第 6 段階)。

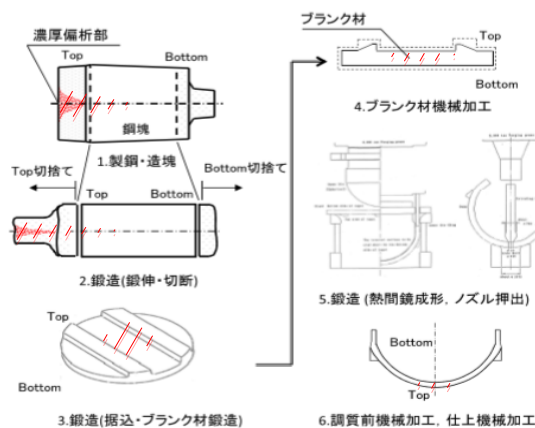


FIGURE 7 MACROSEGREGATION ZONE ORIENTATION

図 7 : マクロ偏析ゾーンの向きと位置の変化 (日本鋳鍛鋼の資料より作成)

図 8 は、完成した SG ボトム・チャンネル・ヘッドで、元々はブルームの頂部だった外部表面にマクロ偏析領域が存在している様子を示している。明確にするために、ヘッドから離して示してあるテスト・リングは、ヘッド製造ののちの段階でトレパン方式によりヘッドから切り離される。このテスト・リングから化学分析や材料靱性 (シャルピー) や延性 (伸び%) の物理テストを行うためのサンプルが採られる。つまり、化学分析や物理特性において、テスト・リングは切り取られたブルームの下方部分を代表するものであり (図 7 を参照)、チャンネル・ヘッドの外側表面に残存するマクロ偏析の指標にはならないのである。

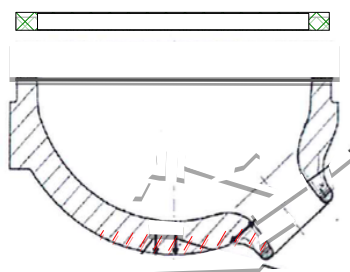


FIGURE 8 BOTTOM CHANNEL HEAD & TEST RING

図 8 : SG ボトム・チャンネル・ヘッドとテスト・リング

36 基の SG ボトム・チャンネル・ヘッドが JCFC の品質管理体制をどのようにすり抜けてフランスの供用 NPP に組み入れられたのかという点で二つの説明が考えられる。JCFC がまず、鋼塊の炭素レベルを不正確に予測した予測式アプローチに依存しすぎ、そして、次に、テスト・リングから採られた材料サンプルが、完成した部材全体を代表するものと想定したということかもしれない。後者の想定が正しいと言えるのは、部材に不均一性がない場合のみであるが、フランスで後に実施されたテストは、そうではないことを確実に示している。

もう一つの説明として考えられるのは、アレバとフランスの原子力安全規制機関 ASN が、これらの部材は局所的な異様に高い炭素レベルを有していても、目的に適合していると合意したというものである。しかし、ASN がこのような企みに同意し、それによって、深刻な欠陥を持つ部材がフランスの原子力機器サプライ・チェーンに入り込むことを許可したという記録はない。

最後に、もちろん、これらの JCFC 部材に添えられていた製造記録が実際の状況やテスト結果——当時 JCFC 部材の受け入れを不可能にしたであろうもの——を反映していなかったという可能性がある。前述のとおり、ASN がフランスの議会委員会に提示したクルゾ・フォルジュの改竄記録は ASN を欺き、同様のクルゾ部材を供用に適合したものとして受け入れさせたのである。

日本の NPP に提供された部材：日本では、二つの種類の軽水減速炉が長年にわたって運転開始されてきた。これらは、加圧水型炉（PWR）と沸騰水型炉（BWR）である。PWR はそのフランス版と同じく、原子炉圧力容器（RPV）、加圧器、蒸気発生器、ポンプを繋ぎ合わせる一次冷却系を有しているが、BWR は機器の面でもっと単純で、主要 RPV に繋がっているのは循環ポンプだけである。PWR 及び BWR のこれらすべての主要部材は巨大な鍛造炭素鋼部品である。

JCFC の部材（SG、RPV その他のクラス 1 部材）を取り付けた日本の電力会社の回答によると化学分析及び物理テストの結果の認証になにも問題はないという。

しかし、提示された結果は、部材の元々の製造記録から取られており、従って、同じ予測式モデルがテスト・リングの信頼性欠如とあいまって採用されている場合には、不均一性領域のある部材が日本の原子力機器サプライ・チェーンに入り込んだという幾分かのリスクが伴うということになる。つまり、これらの部材は、現在供用中の、あるいは臨界再開許可を待っている NPP に取り付けられているということになる。

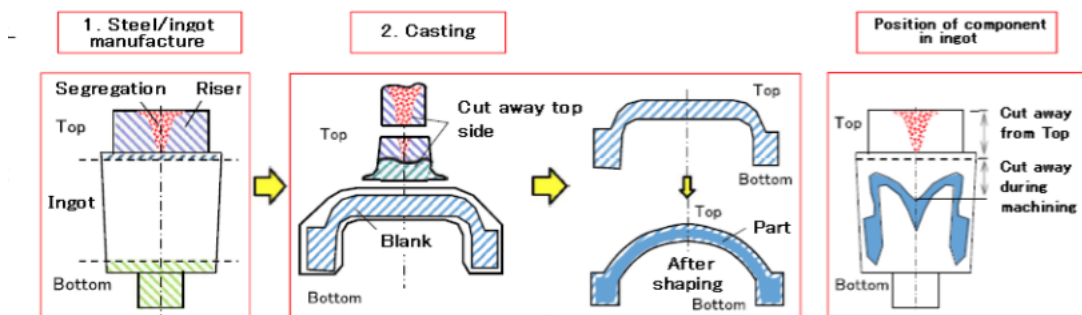


FIGURE 9 - CASES 1, 2 AND 3 - TRADITIONAL FORGING PROCESS - RPV UPPER HEAD
TAKAHAMA 2 - GENKAI 2 - OI 1, 2 - IKATA 2

NRA への回答において、JCFC は、製造ルートを i) 製造プロセスと ii) 鋼塊重量によって 6 のケースに分類している。例えば、RPV のアパー・ヘッド (上蓋) 製造に使われたケース 1、2、3 は、210t、260t、及び 400t の鋼塊を使った「従来型」鍛造プロセスで図 9 に図式的に示されている。

ケース 4 に分類されるもの—260t の鋼塊から敦賀 2 号機の RPV アパー・ヘッドに使われた—も鍛造プロセスであるが、中間プロセスの一部は JCFC の提出物では「編集」[削除] されている。

福島第二原発の 2 号及び 4 号機と志賀 1 号機は、それぞれケース 5 と 6 によって 260t と 90t の鋼塊から、これもまた鍛造により製造された。ケース 5 は、他のすべてと異なり、ブルームが横向きにされ、残存する正及び負マクロ偏析領域があれば、それらはすべて、図 10 に図示されているように、ひし形の間段階製造物の「耳」の部分に位置する。

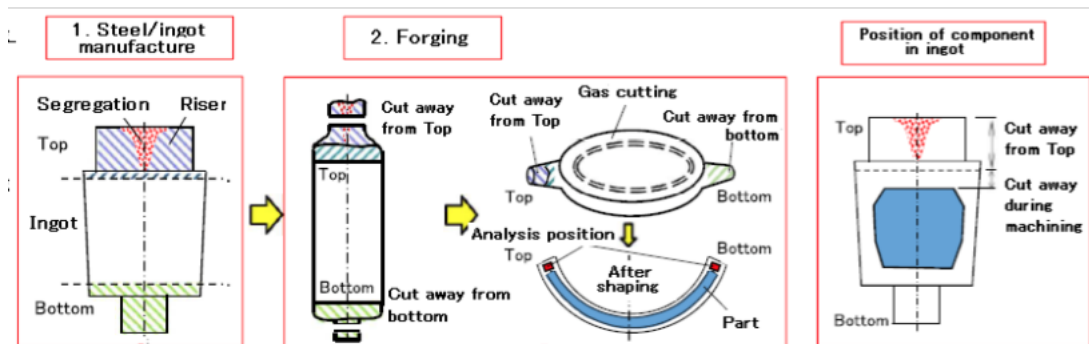


FIGURE 10 CASE 5 LATERAL FORGING PROCESS - 260T INGOT FOR FUKUSHIMA DAINI 2 AND 4

ケース 5 のもう一つのユニークに見える特徴は、鋼塊のディスク割合を決める予測モデルについて JCFC が全く言及していないことである。

。 日本製鋼所—JSW

JSW もまた、ブルームにおける残存マクロ偏析領域の存在を最小限にするための最善ディスク割合を割り出すために自社の予測式方式を使っている。

PWR の RPV ヘッド部材製造において、JSW はブルームを「トップ・ダウン」で扱うことにより、残存マクロ偏析領域があればそれをすべて鍛造部材の内部表面の層に存在させ、これを後に荒及び仕上機械加工によって剥ぎ取るようにしている。図 11 は、このピレット内における最終製品部材の位置の逆転を示している。ブルームにおける正マクロ偏析領域の形成・取り込みの可能性を完全になくするものは、この「トップ・ダウン」鍛造プロセスにはない。

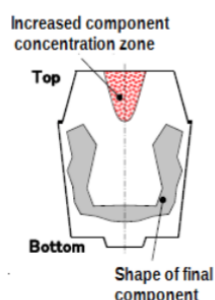


FIGURE 11 JSW TOP-DOWN PROCESS

図 11：JSW の「トップ・ダウン」鍛造プロセス

また、JSW はその回答において鋼塊に正マクロ偏析が存在すること、そして、RPV のボトム・ヘッド部材に残存部分があることを認めているのは興味深いことである。

「...炭素偏析は鋼塊 Top 側軸心に生じやすいことから、これを除去するために鍛造初期に押湯の部分的な切捨を実施している。また、回転成形にて生じる余肉によって炭素偏析領域を除去している。最終製品は、鋼塊復元イメージに示す通り、成分濃化部が無い領域に位置することから、C 量 0.26wt.% を超える偏析の残存はない。」

これは、製造技術のため JSW の鍛造には正マクロ偏析領域は存在しないとの 9 月の NRA のステートメント [文末注 25 参照] と完全に矛盾する。実際、まったく正反対に、JSW は予測式に従って中間プレート機械加工段階で偏析領域を除去するというのであるから、偏析不均一性の存在を認めているのである。

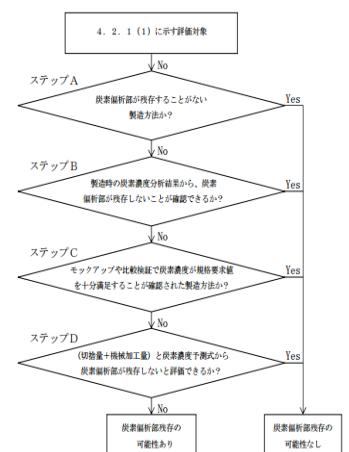
JSW が SG 部材をフランスの原子力機器サプライ・チェーンに提供したことは確認されているが [文末注 18 参照]、JCFC と異なり、JSW の NRA への回答はこれらの N1 部材 (つまり、フラマンビル 3 号 NPP の—そして、ひょっとしたらフランスの 1300MWe の NPP の第 2 期取替 SG プログラム用に提供した—チューブシート、ボトム・チャンネル・ヘッド) について何ら言及していない。

○ JFE ホールディングス—JFE

JCFC 及び JSW と同様に、JFE もそのクラス 1 部材を据込鍛造により製造している。ただし、半球シェル / ヘッド部材の製造では、ブルームは「サイドオン」で処理され、残存正及び負マクロ偏析領域は完成部材のテスト・リングの反対側の端に現れるようになっていく。

実際、これらのメーカー (JCFC、JSW 及び JFE) の供給したクラス 1 部材のすべてがその製造において鍛造プロセスを伴っている。プレート(鋼板)から作られたとし、この根拠のみに基づいて残存偏析領域を含むことは不可能だとの主張により除外されたものも、単一の従来型鋼塊から鍛造されていて、同鋼塊は正マクロ偏析領域の形成の—従って、局在的炭素濃化の—リスクを有している。このような部材は、鍛造シーケンスの中断時に検査し、適切に、偏析がないことを「公式に」認証しておくべきだった。

個々のメーカー (JCFC、JSW 及び JFE) は、NRA への 10 月 17 日のそれぞれの資料提供において、供給した部材に残存する炭素偏析の実際の濃化レベルについて明らかにしていない [文末注 27 参照]。炭素の濃化が存在すると認められた場合は、実際のレベルは「編集」[削除]されている。JSW が認めた最大 $\leq 0.26\%$ —RPV 及び一次冷却系部材で一般に許容されている約 0.22% という規定を上回る—というのは、0°C の標準温度における材料靱性の 30% の喪失を意味する。



第 4-1 図 評価フロー

FIGURE 12 NRA SCREENING STEPS

日本の電力会社の 2016 年 10 月 31 日の回答

NRA は NPP 運転者らに対し、それぞれの NPP に取り付けられたクラス 1（フランス N1 カテゴリーに相当）の鍛造部材の評価を提供するよう命じた。これらの回答は、各運転者がひな形に沿って作成し、回答者は単純な 4 つのステップのスクリーニング・ロジックに従うというものである²⁸。

最初の三つのステップ（A、B 及び C）はそれぞれ、製造段階の残存マクロ偏析があるかどうか、製造段階で除去されたかどうか、そして、部材に存在する不均一性が今日できるものであるかどうかを判断するよう回答する運転者らに求めるものである。これらの基準のどれも満たれていないとなると、最終ステップ D は、物理的分析（つまりサンプルの切取り）や元の鑄造された鋼塊の炭素予測などの計算式アプローチへの言及などによって評価するよう要求している。

このアプローチの最初の三つのステップは、いくつもの理由で不適切である。

まず第一に、最初の三つのステップは、電力会社の運転者がいかなる経験も有しておらず、また有していると期待されようもない製造プロセスに関するものだけである。運転者らができるのは、鍛造メーカー——つまりは JCFC、JSW 及び JFE(の前身企業)のようなところ——から個別に受け取った元の製造記録を参照することぐらいだろう。

細かく言うと、例えば

ステップ A は、リング形状部材（RPV の胴部や蒸気発生器の外胴など）は、すべてのマクロ偏析は鋼塊軸心部のポンチ穴開けディスカードによりブルームから除去されるとの想定のみに基づき、除外されている。しかし、フランスのフェッセンハイム 2 号 NPP の蒸気発生器（フランスでクルゾ・フォルジュが製造）のローワーシェール [下方胴部] において高度の偏析領域が最近発見されたことは、このような他のすべてに優先する想定が正しいのかどうかについて相当の疑念を起こさせる²⁹。同様に、鋼板・スラブは本来的にマクロ偏析領域を伴わないというのも間違いである。なぜなら、残存領域があれば、それを探知して、その後の鍛造加工が実施される前に除去しなければならないからである。これは、従来型の鋼塊の型鍛造によって製造されたプレートと連続鑄造などによって製造されたスラブにも当てはまる。

ステップ B は、部材が鍛造、成形された後で十分に代表的なサンプルが採られたと想定している。しかし、このような大型鍛造物の場合、部材から直接サンプルを採る機会は出現しない。なぜなら、そうすれば、部材自体が使えなくなるからである。実際は製造ルート品質及び一貫性と、適切な場合にはテスト・リングからのサンプリングとにほとんど全面的に依拠しているのだが、テスト・リングは鍛造物の不均一性が生じやすい部位から離れた位置でのものであるかもしれないのである。

ステップ C は、製造ルートが、まず、同一の部材の連続製造において包括的かつ一貫した形で指示されていて、また、部材のシリーズ全体・一連の製造物の特性がレブリカ部材の分析及び試験によって判明するというに依拠している。言い換えると、最初に製造された部材が満足のいくものであったとすると——それが破壊分析・試験によって示されたか否かは問わず——その後に製造されたすべての部材は偏析がなく、満足のいくものであると想定される。この製造基準体制の一貫性というのは、フランスの原子力機器サプライ・チェーンに入ってしまった JCFC のボトム・チャンネル・ヘッドについては明らかに機能しなかった。なぜなら、すべてが許容できないレベルの不均一性を示しているからである [文末注 5 参照]。

ステップ D は、マクロ偏析領域の存在についての評価を炭素レベル予測式によって行うことを認めている。これは、JCFC や JSW が採用しているもので、ブルーム切捨段階における鋼塊サイズに非常に大きく左右される。フランスの SG ボトム・チャンネル・ヘッドに関する JCFC の予測式アプローチが完全に失敗したことは極めて明らかである (図 6 参照)³⁰。

この 4 ステップの操作の例は、九州電力の回答に現れている³¹。

他の NPP 運転者らの例と比べても典型的と思われるこの九州電力の回答では、SG ボトム・ヘッド部材 (玄海 2、3 及び 4 号機と川内 1 及び 2 号機) は、ステップ A においてさらなる調査は必要なしとされている。このような初期段階の調査除外に関する詳細はほとんどないが、偏析領域は予測され、初期の鍛造切捨プロセスにおいてブルームから物理的に除去されたと想定されている。だが、切取重量や、関連した炭素レベルの予測値、分布などに関する証拠は何も提示されていない。特に興味深いのは川内 2 号 NPP 用に JCFC が製造した SG チャンネル・ヘッドをスクリーニングで除外したことである。なぜなら、これらは、フランスに輸出され現在残存マクロ偏析領域を伴う欠陥を有していることが知られている JCFC のボトム・チャンネル・ヘッドとだいたい同じ鍛造プロセスで製造されただろうからである。

ステップ A、B、C のスクリーニング・プロセス—すべて、参照のすべのない「製造マニュアル」に言及している—には、また、分析及びテスト結果のきわめて単純化された要約が添えられている。とりべ分析、炭素濃度、それにシャルピー靱性テストの単一及び平均 (3 以上) など、すべて、元のメーカー側記録から取られたものである。

基本的に同じような調子で、九州電力は、他の鍛造部材はそれぞれ四つのスクリーニング・プロセスでイエスとして評価されたと報告している。「製造マニュアル」へ言及・依拠しながら、「当社の評価対象部位すべてについて炭素偏析部残存の可能性はないことが確認できた」と結論付けた。川内 1 及び 2 号機の運転が開始された 1984 - 85 年の数年前に作成された製造記録に依拠する以外、九州電力は川内 NPP に取り付けられた主要な鍛造部材の最近のテスト・検査について報告しておらず、非破壊検査 (NDE)、あるいは、通常原子炉一次冷却系の様々な部材の製造時から保管されているサンプル・ブランクの分析・物理的テストの実施機会を回避している。

九州電力その他の電力会社は、鍛造製造過程で採られたサンプルのシャルピー (靱性) その他の材料特性テストの試験結果の値を提示している。これらの値は、それぞれ、異なる NPP で取り付けられた様々な特定の部材に個別に関連したものということになっている。しかし、データ・セットとして見た場合、妙な、疑わしい一貫性がある³²。ただし、これについての解明は、データとその元の取得についてのさらなる詳細が公表されなければ不可能である。

もし、JCFC および JSW が認めるように、両社のそれぞれの製造プロセスにおいて最初の鋼塊製造・冷却段階がマクロ偏析領域の形成を伴ったとすると、個々の部材に関する回答に鍛造プロセスの適切な中間段階で偏析領域が除去されたということを証明する認証書が入っていなければならない。認証された「鍛造比」；ディスクカード重量の記録；中間の荒・仕上機械加工段階で生じた切削くずその他の少量ディスクカードの化学分析などである。このようなものは何も電力会社側の報告では提供されていない。

○ 議員の質問に対する NRA の回答

福島瑞穂参議院議員は、「炭素異常」の欠陥の可能性に関連した一般的及び特定の問題に関するさらなる補足情報を求める一連の要請を NRA にした³³—NRA の回答³⁴はごく簡略化されたもので、情報と言えるも内容に乏しく、質問者に対する敬意が欠けているものと見る向きもあるだろう。

所見:

問題は、加圧一次冷却系用の欠陥のあるクラス 1 部材が日本の原子力機器サプライ・チェーンに入り込んだという十分な証拠あるいは疑念があるか否かというものである。これらの部材は、欠陥があるかどうかはともかく、現在供用中（川内 1 及び 2 号と伊方 3 号）あるいは近い将来再稼働するかもしれない日本の NPP の中に入っている。

一方では、フランスのサプライ・チェーン向けの JCFC 部材は深刻な欠陥を持ち、その材料靱性が相当に弱化していて、これらの部材は用途に適合しないレベルに至っている。フランスの JCFC 契約は、日本のサプライ・チェーンにほぼ同様の蒸気発生器部材を提供する JCFC 契約に間を空けず続いた。これらの部材の製造は、JCFC の同じ鍛造工場で製造されたフランス用の同様の部材とほとんど同様の鍛造プロセスと品質管理チェックを伴ったのである。

他方、欠陥のある JCFC 部材がフランスで最終的に発見されたのは、新設のフラマンビル 3 号炉の部材について、そして、これらがどのようにしてフランスのクルゾ・フォルジュで製造されたかについて懸念が提示されたからである。クルゾ・フォルジュの品質管理に関する懸念がフラマンビル 3 の鍛造部材を超えて広がったため、フランスの供用 NPP のすべての N1 鍛造部材に関し、可能な場合には、特別なチェック・検査が実施された。通常は、NPP の運転停止検査は、部材が製造・サプライ段階で残存マクロ偏析領域がないことを確認するために徹底的に検査され、それが認証されていることを前提としている——もし、欠陥のある部材が製造段階における基準維持体制及びチェックをすり抜けたなら、これらの部材は、フランスの場合のように、供用 NPP で探知されないままになっていると見ていいだろう。

言い換えると、フランスの例が示しているのは、このような欠陥のある部材が供用 NPP にあることを現実的に確定する唯一の方法は、外部検査・テスト（訳注：非破壊検査）を行うことである。でなければ、欠陥のある部材は、そのようなものが存在するとすれば、原位置で探知されないままにとどまることになる可能性が高い。

日本では、現在のところ、NRA は日本の NPP に取り付けられた JCFC 部材の物理的検査を要求しないことを選んでいる。現在のところ、NRA は、元の製造記録と、非常におおざっぱな四つのステップのスクリーニング・システムにだけ頼っている。これは、フランスにおける経験と相反するものである。フランスでは、製造記録だけに頼るのは全く不十分であることが議論の余地なく立証されているのである。

フランスでの調査が進む中、JSW の部材（SG チューブシート、チャンネル・ヘッド及び楕円形ヘッド）についての懸念が持ち上がっており、これらの JSW 部材は、残存偏析領域があるかどうか見極めるための厳密な、独立の物理的テストの対象となると見られている。日本の原子力機器サプライ・チェーンに供給された JSW（及び JFE）の部材に関しては、NRA は、過去の製造記録に依拠する原子力発電会社の回答だけを要求している。

結論: NRA は、まだ、日本の NPP の将来の原子力安全性について確かめるために 物理的測定/検査、分析、テストの適切なプログラムを実施するかどうか決めていない。しかし、現在のところ、NRA は鍛造部材供給者（JCFC、JSW 及び JFE）の提供した元の製造記録と、NPP 運転者ら（九州電力など）がほぼ同じ元の記録を調べているに過ぎない程度のものにだけ依拠している。

化学分析及び材料の物理的テストによる最も初歩的なクロスチェックさえすることなく、過去の製造記録——一部は今では 30 年前のものとなっている——にのみ頼るのは、靱性の相当に弱化した領域が存在するという現実的な可能性を見逃すことになる恐れがある。このような領域が存在するという可能性は、原子炉のセーフティー・ケースを再検討する必要という問題を提起し、それは、フランスで現在進行中であるように、再検討・改訂する必要がある。このような不確実性と、深刻な放射能の影響の可能性を前にして、賢明な道は、フランスの原子力安全規制機関 ASN が採用したアプローチを採用して、日本の原子炉に取り付けられてい

るすべての関連部材の物理的テストを要求することだろう。明らかに、このようなテスト・プログラムは、優先順位を設け、最初は運転中の NPP (川内 1 及び 2 号と伊方 3 号) を優先し、それから日本の NPP すべてに拡大するということが必要だろう。

それでも、もっと満足のいくアプローチは、日本の NPP の中に現在存在するクラス 1 の加圧一次冷却系の「目的適合性」状態を確かめるに適切とみなされるこのような検査やテストをその運転状態に関係なく実施する独立の評価者による評価だろう——これは、同じ日本の鍛造会社 (JCFC、場合によっては JSW も) が供給した部材についてフランスの ASN が監督している同国で進行中の作業と比例した、釣り合いのとれたものとなるだろう。

JOHN LARGE
LARGEASSOCIATES
CONSULTING ENGINEERS, LONDON

APPENDIX I

JCFC 及びクルゾ・フォルジュのボトム・チャンネル・ヘッドの取り付けられた NPP

原子炉	製造元	製造年
CHINON B1	Creusot Forge	2000
CHINON B2	Creusot Forge	2006-2007
St LAURENT B1	JCFC	1989
St LAURENT B2	Creusot Forge	1997
DAMPIERRE 2	Creusot Forge	2000
DAMPIERRE 3	JCFC	1991
DAMPIERRE 4	Creusot Forge	2000
TRICASTIN 1	JCFC	1994
TRICASTIN 2	JCFC	1994
TRICASTIN 3	JCFC/Creusot Forge	1995/1994
TRICASTIN 4	JCFC	1997
BUGEY 4	JCFC/Creusot Forge	1995/1994
GRAVELINES 2	JCFC	1992
GRAVELINES 4	JCFC	1993-1994
FESSENHEIM 1	JCFC	1996
CIVAUX 1	JCFC	1990
CIVAUX 2	JCFC	1992
BLAYAIS 1	Creusot Forge	2005-2006

出典: ASN 27 October 2016[4]

本調査報告書は、一般的に、JCFC 部材の取り付けられた 12 基の NPP に限定されたものであるが、クルゾ・フォルジュの製造したボトム・チャンネル・ヘッドを有する 6 基の NPP の原子力安全性についても懸念が表明されており、これらも上の表に示されていることに留意しなければならない。これらの NPP では追加的な予防措置も講じられているかもしれない。

- 1 LargeAssociates, *Review Irregularities and Anomalies Relating to the Forged Components of Le Creusot Forge*, Greenpeace France, 29 September 2016 - http://www.largeassociates.com/CZ3233/Note_LargeAndAssociates_EN_26092016.pdf
- 2 工学用語では、材料特性は、「靱性」であり、故障（破損）モードは、「急速破壊」あるいは「脆性破壊」と呼ばれる
- 3 「日本の原子炉に導入された一次冷却材系部材、炭素異常に関するレビュー 第一部 フランスの炭素異常と日本の原子力発電プラントの相互関係」 http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/Summary_carbon%20issue_20161025_3.pdf
- 4 ASN Response to LargeAssociates request for further information of 15 September 2016 – Table under Slide 7a - <http://www.largeassociates.com/CZ3235/3235search.html>
- 5 ASN, *Décision no 2016-DC-0572 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 octobre 2016 prescrivant des contrôles et mesures sur le fond primaire de certains générateurs de vapeur de réacteurs électronucléaires exploités par Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA)* - <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletinofficiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Decisions-individuelles/Decision-n-2016-DC-0572-de-l-ASN-du-18-octobre-2016>
- 6 IRSN, Avis de l'IRSN sur la sûreté des réacteurs de 900 MWe équipés de générateurs de vapeur dont les fonds présentent une teneur anormalement élevée en carbone, Note d'information, 6 December 2016 – the 0.32% limit means that above this level EdF's generic Demonstration Approach is not considered valid.
- 7 ASN, Serviceability of the steam generator channel heads manufactured by JCFC, CODEP-DEP-2016-047228, 5 December 2016
- 8 Avis IRSN, 2016 2016-00275 Objet : EDF – REP - Paliers CPO, CPY et N4 – *Ségrégations en carbone des fonds primaires de générateurs de vapeur – Analyse de sûreté et mesures compensatoires*, 5 August 2016 - <http://www.largeassociates.com/CZ3235/3235search.html>
- 9 IRSN, *Note d'information, Parc nucléaire d'EDF en fonctionnement : Anomalies et irrégularités constatées lors des investigations consécutives à l'anomalie concernant les calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville*, 18 October 2016 - http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_NI_Centrales-EDF-Anomalies-Generateurs-Vapeur_20161018.pdf
- 10 フェライト鋼の靱性と高速破壊に対する抵抗は、温度の低下とともに下がる。破壊モードは、温度が下がるに従い延性から脆性（高速）に遷移して、それぞれの合金鋼に特有の棚状の変化を示す—遷移帯が存在し、鋼鉄が純粋に延性的に振る舞い、破壊が伸びによって起きる状態から、もろく、開裂によって完全に破壊する状態（脆性あるいは高速破壊）に移行する。しかし、この温度遷移特性は、部材が老化するに従い、熱サイクル、そして、原子力利用では中性子照射の結果として、靱性に有害な形で変化する。実際には、脆性破壊は、サンプルや部材の形状、最初の欠陥・亀裂の形や鋭さなどにより、そして、非常に重要な形でひずみ速度により、影響を受ける。従って、材料靱性特性の結果だけでは、RPVや加圧一次系の部材などの実際の産業用途に適用される場合については誤解を招く恐れがある。
- 11 執筆時点（2016年12月7日）では、JCFCのボトム・チャンネル・ヘッドを取り付けた12基のNPPがEDFに課せられたこれらの13の要件を満足のいく形で解決する前に再稼働を許されるのか否かは全く分からない
- 12 ASN, *Major Positive Residual Carbon Segregation Forged Components of EDF's Operating Fleet*, (in French - *Ségrégations majeures positives résiduelles du Carbone Composants forgés du parc en exploitation d'EDF*) 24 juin 2016) 24 June 2016 - http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/1_d_ASN_seg_majeures_cle0a15eb.pdf 2016年12月5日のHCTISNの会合も参照。
- 13 LargeAssociates, M3235-A1, A2, A3 Requests to ASN for Further Information October 2016 - <http://www.largeassociates.com/CZ3235/3235search.html>
- 14 ASN to AREVA, *EPR FA3 Qualification technique Pièces Coulées avant 2008*, 3 May 2010
- 15 ASN to AREVA, CODEP-DEP-2011-067787, *Implementation of regulatory requirements on the mechanical properties of materials some components for the EPR Flamanville 3 and replacement of steam generators*, References: [1] the GP Referral ESPN CODEP-DEP-2011-059746 of 15 November 2011
- 16 “貴社は、複数の部品の技術的認証書のなかで、原子力耐圧機器（ESPN）指針に記載されている機械的特性の値を全項目については保証できないと報告したうえで、この不適合による影響はないとの釈明をASNに提出した。これらの釈明は、EPRフラマンビル3号機用の主蒸気隔離弁（MSIV）および蒸気発生器の特定の部品に関するものである...
- 17 ここには、JSWではなく、クルゾ・フォルジュで製造された部材との混乱があるかもしれない。
- 18 Tsuyoshi Nakamura, JSW, *Different Requirements of Codes for Manufacturing of Forgings*, 10 September 2009
- 19 Proceedings of l'OPECST - http://videos.assemblee-nationale.fr/video.4345585_580f80fe66839.opecst--controle-des-equipements-sous-pression-nucleaires-25-octobre-2016
- 20 ASN, *Anomalies et irregularities sur les équipements sous pression nucléaires*, OPECST 25 Octobre 2016 - https://reporterre.net/IMG/pdf/asn-pre_santation_a_l_opecst-oct_2016.pdf
- 21 実際の結果は 42、42、165J（ジュール）で平均は 83J だが、二つの不適合の個別結果が改竄され、98、120、165 となって平均は 128J とされ、これによってすべての三つの個別結果で合格とされた。
- 22 ASN, *Compte-rendu d'événement significatif a caractere generique defauts d'assurancequalite chez creusotforge sur des dossiers de fabrications de composants d'elpduparcenexploitation*
- 23 フランスの拡大原子力規制要件の一環として、フランスの原子力機器サプライ・チェーン用のすべての N1 部材の製造場所を ASN の機関が検査し認証するというのは普通である。
- 24 高速破壊を起こしやすいボトム・チャンネル・ヘッドにとって、最も厳しいのは低温衝撃シナリオである。この異常な運転条件においては、蒸気発生器のホット・レグ [高温側配管] に小さな破損あるいは冷却水喪失事故（LOCA）が起き、その結果生じた圧力低下が PRV ヘッド及び SG のチューブ・バンクにおける蒸気発生をもたらす、一次冷却系の温度が約 290 度 C から 250 度 C に低下し、循環ポンプの蒸気で満ちたヴォリュート [渦巻型部分] が、一次系のリターン・レグにおいて蒸気が発生するに従い、実質的に空洞となる。低温の緊急補給水が一次冷却系のリターン・レグに注入される結果、注入された低温水が RPV のアニュラ部内に大量に流れ込み、リターン・レグに降りかかり、空洞化したポンプの流れが逆転してボトム・チャンネル・ヘッドに向かう。シーケンスのこの時点で、チャンネル・ヘッドのアウトレット・ノズルの温度は急激に低下して 30 度 C ほどになる。これに対し、チャンネル・ヘッドのマニホールドのインレット側は約 180 度 C に保たれている。この温度差と急激なひずみ速度とがチャンネル・ヘッドのリターン・ノズル部

分を脆性状態に陥れ、それにより、高速破壊と、大規模な LOCA 破損の結果一次冷却系に壊滅的な亀裂が生じる可能性がある。

25 ASN-NRA, i) Recent Developments in Creusot Forge Manufacturing Issues – ii) Actions Taken in Japan, presentations, 12-13 September 2016

26 It was subsequently shown that for the greater number of component types, mainly hemispherical shells were hot formed from slab produced by upset forging conventional billets.後に、もっと多くのタイプの部材に関して、主として半球状シェルは、据込鍛造従来型ピレットで作られたスラブから熱間形成されたことが示された。

27 NRA, 仏国原子力安全局で確認された原子炉容器等における炭素偏析の可能性に係る調査の状況等について -2016 年 10 月 19 日

28 NRA, Response of the Nuclear Power Generating Utilities, 31 October 2016 –

<http://www.largeassociates.com/CZ3233/ASNRequestsandAnswers/000168565kyushuelectric.pdf>

(訳注：各電力会社からの報告書は <https://www.nsr.go.jp/disclosure/law/NRP/00000008.html> にある)

29 ASN, Note d’information of 20 July 2016

30基本的に、それぞれの鋼塊サイズ (トン数) はユニークな特性を持っており、予測式は、鋼塊サイズと取鋼分析に合わせて調整しなければならない。一般的に鋼塊トン数が大きければ大きいほど、偏析二ンジンの根の深さは大きくなり、従って、トップサイドの切捨て重量%は大きくなる—JCFC のボトム・チャンネル・ヘッド用につくられた 120 トン鋼塊では、ブルーミングと機械加工でのトップサイドの廃棄量は総鋼塊重量の 26%だが、もっと大きなトン数の鋼塊だと、例えば 260t の場合、総廃棄量は最初の鋼塊重量の約 80%になる。

31九州電力、2016 年 10 月 31 日 - - これは、原子力発電電力会社の回答の中で唯一英語で得られたものである。ただし、これも完全ではなく、公式な翻訳でもない。ではあるが、他の電力会社の回答も、表形式の、ひな形に沿ったレイアウトで同じような内容を示しており、テスト結果や他の数値記入内容も容易に判明できる。

32 NRA、仏国原子力安全局で確認された原子炉容器等における炭素偏析の可能性に係る調査結果等について、2016 年 11 月 22 日

33 国会議員の質問と回答 (日本語) 2016 年 11 月 4 日付け

34 国会議員の質問と回答 (日本語) 2016 年 11 月 4 日付け