

JCO臨界事故のミクロ分析とその限界

齋 藤 靖

本稿の目的は2つある。第1に、JCO臨界事故発生時の現場作業者による逸脱行為をヒューマンエラーの視点から検討することである。第2に、彼ら現場作業者に主要な焦点を当てたミクロレベルの分析では臨界事故の全体像を十分に説明することができず、さらに解明すべき問題が残されている点を指摘することである。

臨界事故は、JCOの転換試験棟で行われていたウラン再転換加工作業の最終工程で発生した。現場作業者たちによる2つの逸脱行為が事故の直接的な原因になった。第1に、彼らは安全基準値をはるかに上回る量のウランを一度に取り扱った。第2に、彼らは安全基準値よりも大きな設備を使用した。これら2つの逸脱行為が組み合わさって臨界事故が発生したのである。

事故現象を分析する視点の一つとして、ヒューマンエラー (human error) 分析がある。この分析枠組みは、事故の当事者に主要な焦点を当てることによって、事故を発生させるに至った行為の特徴やその発生メカニズムをミクロレベルから解明しようとしている点で大きな貢献がある。JCO臨界事故についても、事故発生時の現場作業者たちによる2つの逸脱行為をミクロレベルの視点から解釈することが可能であり、逸脱行為の特徴を理解するうえでヒューマンエラーの分析枠組みは大変有益である。

しかし、事故の当事者に主要な焦点を当てた分析では、事故の全体像を解明するために必ずしも十分な役割を果たしているとはいえない。マイクロレベルの分析で解決できない点として、相互に関係する2つの点が存在する。第1に、事故の当事者のみを主要な分析対象としているために、当事者を越えた対象や、当事者と対象との関係性について必ずしも十分な考察ができない。第2に、事故に至る比較的短い期間を主要な分析対象としており、長期的な過程について必ずしも十分な考察ができない。

本稿では、第1に、臨界事故の直接の原因になった2つの行為が安全基準から逸脱した行為だったことを示す。第2に、現場作業者に着目したマイクロレベルの分析枠組みとして、ヒューマンエラー分析の概要を説明する。第3に、ヒューマンエラーの分析枠組みから2つの逸脱行為を分析したうえで、マイクロレベルの視点で解決することができない問題を指摘する。

1 現場作業者の逸脱行為

本節では、はじめに、事故が発生した作業工程を説明する。次に、作業工程に適用されていた安全管理規則を説明する。最後に、事故の直接の原因になった2つの行為を説明し、それらの行為が安全管理規則で設定された基準から逸脱した行為だったことを示す。

1-1 再転換加工プロセス

臨界事故が発生したJCO東海事業所内の転換試験棟では、原子力発電の原料となるウランの再転換加工業務が行われていた。一般に再転換加工では、イエローケーキとよばれるウラン精鉱を六フッ化ウラン（UF₆）に転換して濃縮したものを、原子炉の燃料として使用可能な状態にするために再度二酸化ウラン（UO₂）に転換する¹⁾。JCOでは、固体状の六フッ化ウランのほかに粉末状の粗

1) 原子力資料情報室（1999: 25）、科学技術振興機構（2004）、日本原子力学会JCO事故調査委員会（2005: 3）。

八酸化三ウラン (U_3O_8)²⁾ を原料として再転換加工を行い、製品として粉末状の二酸化ウラン (以下、二酸化ウラン粉末) や溶液状の硝酸ウラニル (UNH , $UO_2(NO_3)_2$, 以下、硝酸ウラニル溶液) を製造していた。原料の違いや製品形態の違いによって再転換加工プロセスは若干異なる。図1は、JCOの再転換加工プロセスを示したものである。再転換加工プロセスは、①加水分解あるいは溶解工程→②溶媒抽出工程→③沈殿工程→④仮焼工程→⑤還元あるいは再溶解工程→⑥混合・均一化工程から構成されている。以下では、この図にしたがってJCOにおける再転換加工プロセスの具体的な説明を行う³⁾。

-
- 2) 八酸化三ウランはイエローケーキに含まれる一つの化合物である。この化合物はウラン化合物のなかで最も化学的に安定しているため、JCOは六フッ化ウランとともに再転換加工の原料として使用していた。八酸化三ウランが化学的に最も安定していることの意味は、酸素が存在するところで加熱すれば最も八酸化三ウランになりやすいということである。鉄を空气中に放置すれば徐々に酸化鉄になるのと同様に、ウランも空气中に放置すれば徐々に八酸化三ウランになることから、自然界では最も多く存在する化合形態であるといえる (『捜査報告書』2000.2.21: 添付資料)。
 - 3) 再転換加工プロセスの説明については、原子力安全委員会ウラン加工工場臨界事故調査委員会 (1999) のほかに、科学技術振興機構 (2004)、日本原子力学会JCO事故調査委員会 (2005)、『捜査報告書』2000.10.29を参考にした。

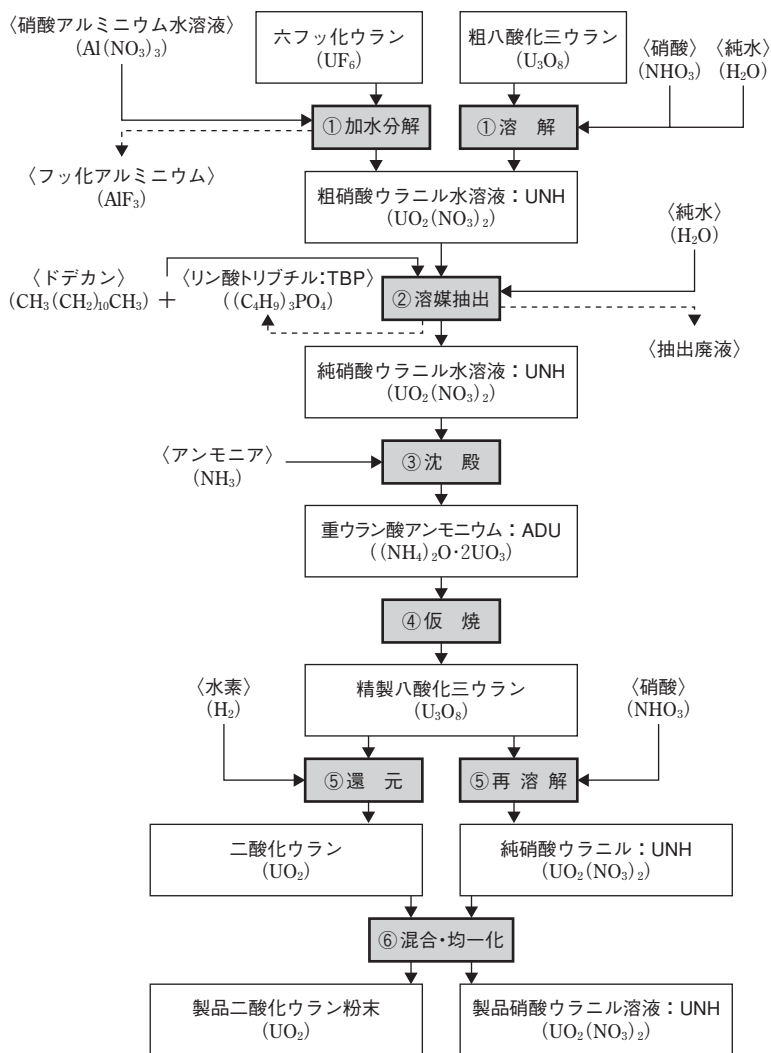


図1 JCO再転換加工プロセス

出所：日本原子力学会JCO事故調査委員会（2005:4），
『捜査報告書』2000.10.29；添付資料をもとに著者が作成。

a 加水分解工程・溶解工程

固体状の六フッ化ウランが原料として使用される場合には、加水分解作業が行われる。常温において固体である六フッ化ウランは、摂氏100度（100℃）近くで気化するという性質を持っている。加水分解作業ではまず、この化学的性質を利用することによって、六フッ化ウランをシリンダ加熱器で加熱して気体状にし、加水分解塔へ送る。次に、気化した六フッ化ウランを加水分解塔内で硝酸アルミニウム水溶液（ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ）と反応させることによって、粗硝酸ウラニル水溶液とフッ化アルミニウム（ AlF_3 ）が生成される⁴⁾。

粉末状の粗八酸化三ウランが原料になる場合には、溶解塔で溶解作業が行われる。溶解作業では、粗八酸化三ウランに硝酸（ HNO_3 ）と純水（ H_2O ）を加えて加熱することによって、粗硝酸ウラニル水溶液が生成される。

b 溶媒抽出工程

加水分解作業あるいは溶解作業によって生成された粗硝酸ウラニル水溶液は、溶媒抽出工程へ送られる。溶媒抽出工程は抽出工程と逆抽出工程から構成されている。一連の工程では、溶媒を用いることによって粗硝酸ウラニル溶液からウランが抽出され、さらに不純物が分離されることによって純硝酸ウラニル水溶液が生成される。

抽出工程の抽出塔内では、粗硝酸ウラニル水溶液にリン酸トリブチル（TBP、 $(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{PO}_4$ ）とドデカン（ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$ ）の混合溶媒を付着させることによって、ウランが付着したリン酸トリブチルと不純物を含んだ残りの抽出廃液が分離する。ウランが付着したリン酸トリブチルは次の逆抽出工程へ送られ、抽出廃液は廃液を貯蔵する中間槽へ送られる。

逆抽出工程の逆抽出塔内では、ウランが付着したリン酸トリブチルに純水を加えて振動を与えることによって、リン酸トリブチルからウランが分離し、ウランが純水に溶けて硝酸ウラニル水溶液となる。この硝酸ウラニル水溶液には不純物が存在しないことから、純硝酸ウラニル水溶液と呼ばれる。純硝酸ウラ

4) フッ化アルミニウムは、溶媒抽出工程以降のプロセスで使用されることはない。JCOでは、東海事業所内のフッ化アルミ棟でフッ化アルミニウムを再利用していた（『捜査報告書』2000.10.29:添付資料）。

ニル水溶液は次の沈殿工程へ送られる前に純硝酸ウラン液貯塔（以下、貯塔）に送られる。また、ウランと分離したリン酸トリブチルはリン酸トリブチル貯塔へ送られる。

c 沈殿工程～仮焼工程

貯塔に貯められた純硝酸ウラニル水溶液は沈殿工程へ送られる。沈殿工程では、沈殿槽内で2つの作業が行われる。第1に、純硝酸ウラニル水溶液にアンモニアガス（ NH_3 ）を反応させることによって、重ウラン酸アンモニウム（ADU, $(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3$ ）を沈殿させる作業である。第2に、濾紙を取り付けた汙過機にスラリー（泥）状の重ウラン酸アンモニウムを入れ、真空ポンプで液分を取り除くことによって重ウラン酸アンモニウム粉末にする作業である。

粉末状の重ウラン酸アンモニウムは次の仮焼工程へ送られる。仮焼工程では、仮焼炉へ送られた重ウラン酸アンモニウムを約600°Cで熱分解することによって、精製八酸化三ウラン粉末が生成される。

d 還元工程・再溶解工程

仮焼工程で精製された八酸化三ウランがそのあとに辿るプロセスは、最終製品の形態に応じて異なる。最終製品が二酸化ウラン粉末の場合には、精製八酸化三ウラン粉末は還元工程へ送られる。それに対して、最終製品が硝酸ウラニル溶液の場合には、精製八酸化三ウラン粉末は再溶解工程へ送られる。

還元工程では、還元炉に送られた精製八酸化三ウラン粉末に水素ガス（ H_2 ）が吹き込まれることによって、二酸化ウラン粉末に還元される。それに対して、再溶解工程では、溶解工程と同様の作業が行われることによって純硝酸ウラニル溶液が生成される。溶解工程と再溶解工程で唯一異なるのは、溶解する八酸化三ウラン粉末に不純物が含まれているか否かという点である。溶解工程では不純物が含まれた粗八酸化三ウラン粉末を使用しているのに対して、再溶解工程では精製済みの純八酸化三ウラン粉末を使用している。

e 混合・均一化工程

還元工程、あるいは再溶解工程によって生成された二酸化ウラン粉末や純硝酸ウラニル溶液は、最終工程である混合・均一化工程へ送られる。還元工程を経た二酸化ウラン粉末は、酸化防止と粉末の均一化を目的としてミキサーで混

合される。混合・均一化された二酸化ウラン粉末は、ポリ袋に入れられ、輪ゴムでポリ袋をしっかりと閉じて円筒状の容器に封入されたあと、各種検査を受けて出荷される。再溶解工程を経た純硝酸ウラニル溶液も溶液の均一化を目的として混合・均一化され、専用の容器に封入されたあと、各種検査を受けて出荷される。

1-2 安全管理規則

通常、事故の危険性を常に抱えている作業に対しては、その作業が日々安全に実行されるための規則が課せられる。実際に、JCOが行っていた再転換加工プロセスに対しても、事故の発生を防止するための様々な安全管理規則が定められている。以下では、そのなかでも臨界安全管理に関連する5つの規則について説明する⁵⁾。5つの規則とは、(1) 形状制限、(2) 質量制限、(3) 濃度制限、(4) 設備間の距離制限、(5) 工程の改良に伴う規則、である。

a 形状制限

形状制限とは、再転換加工を行うために使用される設備の形状に対して課される制限である。臨界が発生する可能性は、ウランを入れる設備の形によって異なる。一般に、同じ容積の設備の場合でも、表面積の広い設備のほうが臨界の発生する可能性は低い。たとえば、ウランを球形の設備に入れる場合と、縦に細長い円筒型の設備に入れる場合では、後者のほうが臨界の発生する可能性は低い。核分裂反応の際にウランの原子核から放出された中性子が設備の外に逃げやすいからである。

また、一般にウランが溶液状の場合に最も臨界の可能性が高くなるため、粉末状の場合よりも小さな形状の設備を使用することが求められる。ただし、必ずしも溶液中に占めるウラン濃度が高いほど臨界の可能性が高くなるわけではない。ウラン濃度が低い溶液でも、あるいはウラン濃度が高い溶液でも臨界の

5) 臨界安全管理に関する5つの規則の説明については、科学技術振興機構(2004)のほか、『供述調書：HQ』2000.5.26、日本原子力学会JCO事故調査委員会(2005)、日本核燃料コンバージョン株式会社(1994)、岡本(2001)、『捜査報告書』2000.2.17、館野ほか(2000)、ウィキメディア財団(2005)を参考にした。

可能性は低くなる。水とウランが特定の比率で存在するときに臨界の可能性が最も大きくなる。

さらに、ウランの濃縮度⁶⁾が高ければ、ウランの質量が少なくとも臨界の可能性は高くなるため、設備の形状としてより小さいものを使用することが求められる。以上のことから、形状制限では、特定のウラン濃縮度のもとで、仮に臨界の可能性が最も高くなる濃度のウラン溶液でも臨界事故が発生しない形状に設備の使用が制限される。

b 質量制限

質量制限とは、一度に取り扱うウランを一定量以下に制限することを定めた規則である。一度に取り扱うウラン量が多ければ、核分裂反応の際にウランの原子核から放出された中性子が別のウランの原子核に当たる可能性が高くなり、結果として臨界の可能性が高くなる。また、形状制限の場合と同様に、ウランの濃縮度が高いほど臨界の可能性は高くなるため、一度に取り扱うことのできるウランの質量は少なくなる。以上のことから、質量制限では、特定のウラン濃縮度のもとで、仮に臨界の可能性が最も高くなるような設備の形状やウラン濃度を採用した場合でも臨界事故が発生しない質量にウランの取り扱いが制限される。

c 濃度制限

濃度制限とは、ウランが溶液状の場合に、全溶液量に占めるウランの割合を一定の質量に制限することを定めた規則である。上述したように、ウランは固体より液体の場合のほうが臨界の発生する可能性が高くなる。したがって、ウラン溶液を取り扱う場合には、質量ではなく濃度でウランの安全性を管理することがある。その際に、仮に臨界の可能性が最も高くなるような設備の形状やウラン濃度を採用した場合でも臨界事故が発生しない濃度のウランの取り扱いが求められる。

6) 「ウラン濃縮度」と「ウラン濃度」は異なった概念である。「ウラン濃縮度」とは、ウランの全質量に占めるウラン235の割合を指すのに対して、「ウラン濃度」とは、全溶液量に占める全ウランの割合を指す（『供述調書：HQ』2000. 5.26:39）。

d 設備間の距離制限

通常、作業工程内には複数の設備が存在しており、それら複数の設備で同時にウランを取り扱う場合がある。設備間の距離制限とは、このような場合に、複数の設備内にあるウランが相互干渉を引き起こして臨界が発生しないように、設備と設備を一定間隔以上離して配置することを定めた規則である。複数の設備で同時にウランを使用することが想定される場合には、立体角⁷⁾法によって算出された数値以上の間隔で各設備を配置することが求められる。

e 工程の改良に伴う規則

工程の改良に伴う規則とは、何らかの理由によって作業の方法や使用する設備を変更しなければならない場合に、事前に規制官庁へその旨を申請して認可を受けなければならないことを定めた規則である。作業方法や使用設備の変更がある場合に、上記 a から d の規則が継続的に守られているか否かについて、規制官庁から再度チェックを受けなければならない。

1-3 現場作業者の逸脱行為

JCO臨界事故は、硝酸ウラニル溶液製造の最終工程である混合・均一化工程で発生した。事故発生時の混合・均一化工程では、再溶解工程で生成された硝酸ウラニル溶液をステンレス製のビーカーに入れて沈殿槽まで運ぶことを何度か繰り返し、特定量の硝酸ウラニル溶液が沈殿槽に入れられた段階で溶液を攪拌するという作業方法が採用されていた。

臨界事故は、この作業方法が直接的な原因となって発生した。混合・均一化工程で採用されたこの作業方法のなかで、(1) 大量のウランが取り扱われたこと、(2) 沈殿槽が用いられたこと、の2つの行為が安全管理上の規則から逸脱していた。以下では、それぞれの逸脱行為について具体的に説明する。

7) 立体角とは、2次元における角(平面角)の考え方を3次元に拡張した概念である。具体的には、空間上の同一の点(以下、角の頂点)から出る半直線が動いてつくられる錐面によって区切られた部分のことを立体角という。角度は錐面の開き具合を指し、角の頂点を中心とする半径1の球から錐面が切り取った面積の大ききで表すことができる。立体角の単位にはステラジアン(sr)が使用される(ウィキメディア財団2005)。

a 大量のウランの取り扱い

事故発生時の転換試験棟では、濃縮度18.8%の硝酸ウラニル溶液を製造していた。質量制限の説明で述べたように、ウランの濃縮度が高ければ、ウランの質量が少なくても臨界の可能性が高くなる。つまり、ウランの濃縮度と臨界の可能性との間には正の関係が存在するのである。したがって、ウランの濃縮度に応じて、一度に取り扱うことのできるウランの質量（以下、質量制限値）は変化する。表1は、ウランの濃縮度と質量制限値の関係を示したものである。

表1 質量制限値

ウラン濃縮度	質量制限値
5%以下	16kgU 以下
5～10%	6.0kgU 以下
10～12%	4.7kgU 以下
12～16%	3.2kgU 以下
16～20%	2.4kgU 以下
20～30%	1.4kgU 以下
30～50%	0.78kgU 以下

出所：日本核燃料コンバージョン株式会社(1994:44)に基づいて著者が作成。

ウランの濃縮度が18.8%の場合、取り扱うことのできるウランの質量は2.4キログラムウラン（以下、kgU）以下である。しかし、臨界事故発生時の現場作業者は、その質量制限値を大きく上回る約16.6kgUのウランを取り扱っていた。JCOでは、一度に取り扱うことができるウラン量を1バッチと呼んでいた。バッチ数で考えると、事故発生時には約7バッチ分のウランを取り扱っていた。つまり、規定量の約7倍ものウランを取り扱っていたのである。

b 沈殿槽の使用

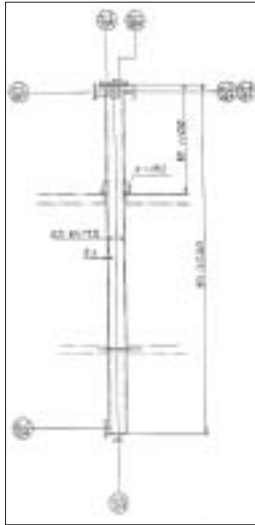
事故が発生した1999年9月の作業よりも前の作業では、混合・均一化作業で貯塔が使用されていた。しかし、事故発生時の現場作業者は、貯塔の代わりに沈殿槽を使用して混合・均一化作業を行った。貯塔から沈殿槽への変更は、2つの安全管理規則に違反するものだった。

第1に、沈殿槽の使用は形状制限違反だった。形状制限の説明で述べたように、ウランの濃縮度が高いほど使用可能になる設備の形状は小さくなる。また、同じウランの濃縮度でも、細長い円筒形のような表面積の小さい形状の設備を使用したほうが臨界の可能性は小さくなる。

ウランの濃縮度が18.8%の場合、直径が17.5センチメートル（以下、cm）以下、厚みが6.9cm以下、容量が9.5リットル（以下、ℓ）以下の形状制限値が設定されていた⁸⁾。しかし、事故発生時に使用された沈殿槽の形状は、直径が約45 cmあり、明らかに形状制限値を超える設備であった。図2は、貯塔と沈殿槽の図面である。事故発生時よりも前の作業で使用していた貯塔は形状制限値である17.5cmの細長い円筒形の設備であるのに対して、沈殿槽はより直径の大きい設備であることがわかる。

8) 日本核燃料コンバージョン株式会社 (1994: 44-45)。

(a) 純硝酸ウラン液貯塔



(b) 沈殿槽

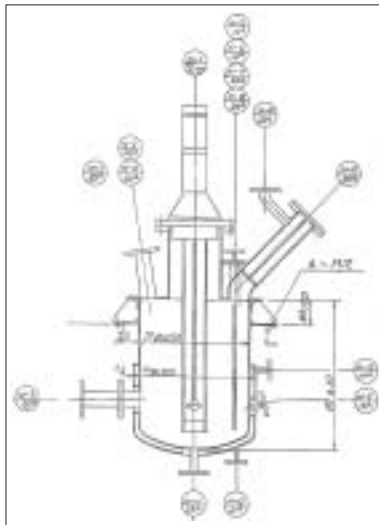


図2 混合・均一化設備の比較

出所：日本核燃料コンバージョン株式会社（1984：第ロ-4-16図，第ロ-4-23図）。

第2に、沈殿槽の使用は工程の改良に伴う規制からの違反であった。沈殿槽は再転換加工プロセスの沈殿工程で使用される設備であるにもかかわらず、事故発生時の作業では沈殿工程で使用していた設備を混合・均一化工程に転用していたのである。このように、何らかの理由によって作業の方法や使用する設備を変更しなければならない場合には、事前に規制官庁へ申請して再び認可を受けなければならない。しかしJCOは、純硝酸ウラニル液貯塔から沈殿槽への変更に関してそのような手続きを行わなかった。

2 ヒューマンエラーの分析枠組み

本節では、ヒューマンエラー研究に重要な貢献を与えている Reason (1990, 1997)⁹⁾ の議論を主に参考にしながら、ヒューマンエラーの分析枠組みを説明する。以下では、次の順序で議論を展開する。はじめに、ヒューマンエラーの定義を提示し、ヒューマンエラーに分類される行為と分類されない行為の違いを明らかにする。次に、ヒューマンエラーには3つの種類が存在することを提示し、具体例を用いながらそれぞれのヒューマンエラーについて説明する。

2-1 ヒューマンエラーの定義

Reason (1990, 1997) では、ヒューマンエラーを次のように定義している。

計画された知的あるいは身体的な一連の活動が、意図した結果を達成することに失敗し、かつ、これらの失敗が何らかの偶発的な介入に帰属することができないすべての場合。(Reason 1990: 9)。

9) Reason (1990, 1997) では、個人に着目したヒューマンエラーの分析枠組みのみならず、組織的な要因に着目した分析枠組みも提示している。ただし、ここでは組織的な要因に着目した分析枠組みには触れず、ヒューマンエラーの分析枠組みに限って言及する。彼による組織的な要因に着目した分析枠組みの説明については、Reason (1990, 1997) のほかに、Reason (1995) を参照されたい。

望ましい結果を達成するために計画された行為の失敗。ただし、何らかの予測できない事象による干渉がないこと (Reason 1997: 71)。

これらの定義から、ヒューマンエラーに含まれない行為の失敗が2つあることがわかる。第1に、偶発的な事象の介入による行為の失敗であり、第2に、行為者による事前の意図がない行為の失敗である。図3は、特定の行為がヒューマンエラーとして分類できるか否かについて整理したものである。

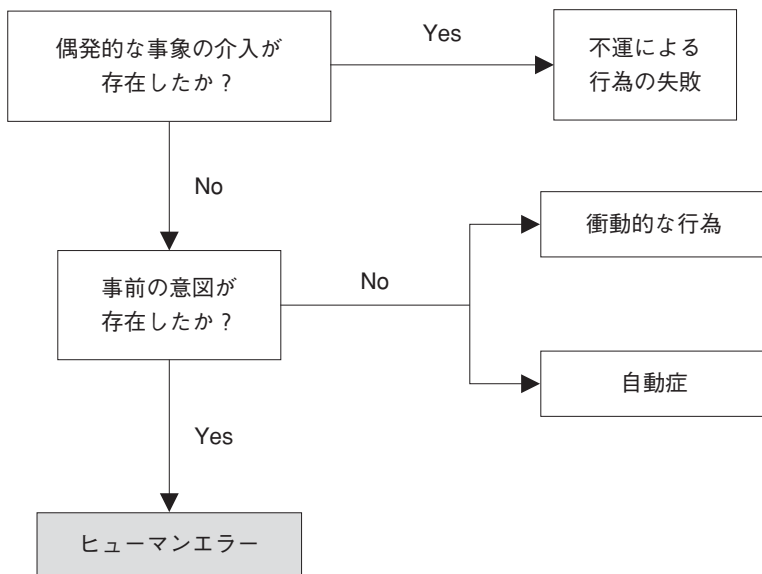


図3 ヒューマンエラーの定義

a 偶発的な事象の介入

ヒューマンエラーには、偶発的な事象の介入による行為の失敗は含まれない。つまり、不運による行為の失敗をヒューマンエラーと考えないということである。たとえば、自宅から学校へ向かっている間に飛行機の部品の一部が自分の

頭上に落下して当たってしまった人を考えてみよう。彼は学校へ行くという目的を達成することができなかつたけれども、これをヒューマンエラーとして分類することはできない。あるいは、野外でバーベキューを行っているときに突然蜂に刺され、持っていた皿を落としてしまった場合も、これをヒューマンエラーとして分類しない¹⁰⁾。

b 事前の意図

事前に意図を持たない行為もヒューマンエラーには分類されない。事前に意図を持たない行為として、衝動的な行為 (spontaneous action) と自動症 (automatism) が存在する¹¹⁾。衝動的な行為とは、もののはずみで他人を殴ってしまったという例のように、事前の意図を形成する前の段階で突発的になされる行為を指す。また、自動症の代表例として、てんかん症状をあげることができる。てんかんの発作で手足が痙攣し、痙攣した手や足で他人を傷つけたような場合でも、これをヒューマンエラーとは考えない。精神と肉体の結合関係をみいだせないような行為はヒューマンエラーに分類しないのである。

-
- 10) 不運による行為の失敗とは反対に、幸運によって行為が成功する場合でも、それをヒューマンエラーとして分類する。たとえば、ゴルフボールを打ち損じたものの、そのボールが木に当たって跳ね返り、運良くグリーンに乗ってしまったような場合には、グリーンに乗せるという目的は達したものの、その行為はヒューマンエラーに分類される (Reason 1997: 71)。
 - 11) Reason (1990) では、ヒューマンエラーとして分類されない事前の意図のない行為として、「副次的な行為 (subsidiary action)」をあげている。しかし、本研究ではこのような行為を事前の意図のない行為とは考えない。「副次的な行為」とは、一連の行為の過程のなかの個別具体的な行為のことを指す。たとえば、オフィスまで車を運転するという行為の場合には、車のドアを開ける、座る、シートベルトを締める、キーを入れる、エンジンをスタートするなどの行為が副次的な行為である (Reason 1990: 7)。たしかに、車を運転するための個別具体的な行為のみを考えた場合、特に十分習熟している行為であれば、そのような行為は事前の意図のない副次的な行為として分類される。しかし、これらの行為で何らかの失敗を犯した場合に、それをヒューマンエラーと分類できないとは必ずしも言えないだろう。オフィスまで車を運転することは事前の意図であると考えることができ、車を運転するための個別具体的な行為で何らかの失敗を犯した場合に、その失敗は次項で説明する「行為の失敗」として考えることも可能だからである。

2-2 ヒューマンエラーの分類

偶発的な事象の介入がなく、事前の意図が存在する行為での失敗として分類されるヒューマンエラーには、大きく分けて「行為の失敗」と「計画の失敗」の2つの種類がある。「行為の失敗」とは、計画は適切であるけれども、計画どおりの行為を実行することには失敗してしまうために、当初の目的を達成することができないようなタイプのエラーである。それに対して、「計画の失敗」とは、実行される行為は完全に計画どおりであるけれども、計画自体が意図した結果を達成するには不適切であるために、当初の目的を達成することができないようなタイプのエラーである。「行為の失敗」の代表的なものとしてスリップがある。それに対して、「計画の失敗」はミステイクとも呼ばれる。ミステイクはさらに、「規則に基づく計画の失敗」と「問題解決活動に基づく計画の失敗」の2つの種類に分類することができる。

以上のことから、ヒューマンエラーは、意図した行為の失敗である「行為の失敗（スリップなど）」と、計画の失敗である「規則に基づく計画の失敗（規則に基づくミステイク）」と「問題解決活動に基づく行為の失敗（問題解決活動に基づくミステイク）」の3つの形態に分類することができる¹²⁾。図4は、これら3つのヒューマンエラーの形態を整理したものである。以下では、3つのヒューマンエラーを具体的に説明する。

12) ここであげたヒューマンエラーの3つの形態は、Reason (1990, 1997) の分類に基づくものであるけれども、あとの議論との混乱を避け、エラーの形態と名称との対応関係をより理解しやすくするために、それぞれの形態の名称を変更している。Reason (1990, 1997) との対応関係を述べると、「行為の失敗（スリップなど）」は「スキルベースのエラー（スキルベースのスリップなど）」、「規則に基づく計画の失敗（規則に基づくミステイク）」は「ルールベースのエラー（ルールベースのミステイク）」、「問題解決活動に基づく計画の失敗（問題解決活動に基づくミステイク）」は「ナレッジベースのエラー（ナレッジベースのミステイク）」にそれぞれ対応する。なお、「スキル」や「ルール」、「ナレッジ」という用語は、Rasmussen (1982, 1983) が人間の行為レベルを分類するために用いている用語であり、Reasonはエラー形態を分類する際にこの用語を使用している。

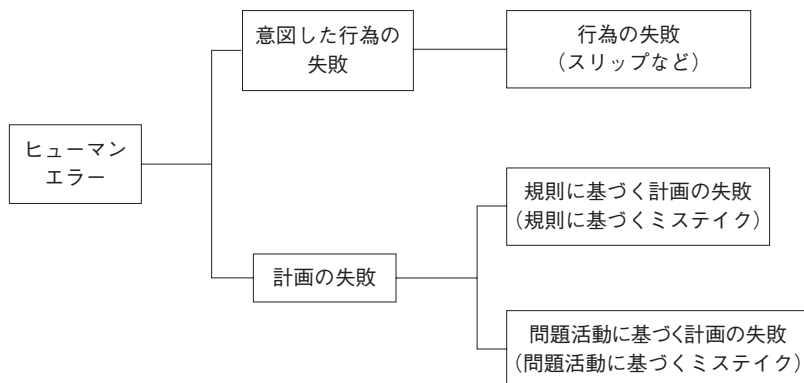


図4 ヒューマンエラーの分類

a 行為の失敗 (スリップ)

行為の失敗とは、日常的に馴染みのある状況下でのルーチン化された行為のなかで起こる失敗である。ルーチン化された行為では、行為の進捗状況が常に意識的にチェックされることはなく、間欠的に行われるにすぎない。つまり、行為はほぼ無意識的・自動的に行われるのである。失敗は主に次の2つの原因から生じる¹³⁾。第1の原因は、行為中の不注意である。とりわけ、普段の行為と似通っているけれども異なる行為を実施しているときに、普段とは異なる部分に注意を傾けないために失敗が生じてしまうのである。たとえば、次のような例は行為中の不注意が原因で生じた失敗である。

珈琲しか飲まないあなたのところに来客があり、その人は紅茶を頼んだとしよう。あなたは珈琲と紅茶を入れようとして台所へ行ったにもかかわらず、2杯の珈琲を持って戻ってきてしまった (Reason 1999: 60)。

この失敗は、紅茶を入れるという普段とは違った行為を行うために必要とされ

13) 行為の失敗 (スリップ) についてのより詳細な説明については、Norman (1988) を参照されたい。

る注意を怠ったために生じた。台所へ行くという行為やお湯を沸かすという行為は、紅茶を入れる際にも珈琲を入れる際にも必要となる共通した行為である。このような類似した行為を行う場合には、普段の慣れた行為に引きずられてしまうことが生じやすくなる。

また、行為中の不注意は、行為の途中で何らかの妨害が入り込むことによって起きる場合がある。妨害のほうへ注意が移ってしまうために、それまで行ってきた行為に対する注意が減少してしまうのである。たとえば、次のような例がある。

辞書を探そうとして本棚へ行った。辞書を取り出すときに別の本を落とすってしまった。そこで、落とした本をもとにあった場所に戻し、探していた辞書を持たないで机に戻った (Reason 1990: 71)。

この失敗は、探していた辞書を取り出す際に別の本が落ちるといふ妨害があったために生じた。落ちていた本をもとの場所に戻すことに注意の焦点が移ってしまい、本棚から辞書を持って戻ってくるための一連の行為に対する注意が減少してしまったのである。

行為の失敗における第2の原因は、第1の原因とは反対に、過剰な注意である。注意を払うことによって失敗するというのは直感的に理解しづらいかもしれない。しかし、制御が自動的になっている行為に対して意識的に注意を払うことで失敗が起ってしまうことは比較的頻繁に生じる現象である。たとえば、パソコンのキーボードを打つ行為やピアノを弾く行為で1本の指の動きのみに注意を集中したら、行為全体を円滑に行なうことは難しくなるだろう¹⁴⁾。

また、不適切な時期に過剰な注意が払われるために失敗が生じることもある。お茶を入れる一連の行為を例に考えてみよう¹⁵⁾。お茶を入れている最中にふと気をそらしてしまったような場合、2つの失敗の可能性がある。一つは、行為のプロセスが実際よりも進んでいると考えてしまい、その結果として、急須に

14) Reason (1990: 73)。

15) Reason (1990: 73)。

茶葉を入れる行為やポットのスイッチを入れる行為を省略するようなタイプの失敗である。もう一つは、実際のプロセスまでまだ達していないと考えてしまい、すでに一杯になっているポットにさらに水を注ぎ込もうとするような、既に実行済みの行為を繰り返すようなタイプの失敗である。不適切な時期に必要な注意を過剰に与えることによって、注意を払わなければ起こらなかったような失敗が生じてしまうのである。

b 規則に基づく計画の失敗（規則に基づくミステイク）

規則に基づく計画の失敗とは、過去の経験や訓練、あるいは文書化された規則や規準、手順などに基づいて策定した計画が、当初の目的を達成するためには不適切であることから生じる失敗である。計画の際に適用されるこれら規則は、「もし（ある状況）であれば、（この行為）を実施する」のようなif-thenの形式をとる。失敗は状況と行為の間に何からの不適合が生じることによって生じる。具体的に、規則に基づく計画の失敗には大きく分けて2つの種類がある。第1の失敗は適切な規則から違反することによるものであり、第2の失敗は不適切な規則を遵守することによるものである。

適切な規則からの違反の具体例としては、Chernobyl原子力発電所の事故をあげることができる¹⁶⁾。1987年4月26日に旧ソビエト社会主義共和国連邦のChernobyl原子力発電所で発生した爆発事故は、世界の原子力産業史上最悪の事故であった。事故は様々な原因が複合的に結びつくことにより発生したのだが、原因となる行為の多くは適切な規則からの違反であった。なかでも、発電機が低出力状態であったにもかかわらず運転を続行したことが、核分裂反応の暴走を招く大きな原因だったとされている。発電所の手順書によれば、20%以下の出力状態ではいかなる作業も禁止していた。しかし、事故当時の運転員は7%という低出力状態で運転の継続を決定してしまったのである。

不適切な規則の遵守の具体例としては、北海油田で発生したPiper Alphaでの事故をあげることができる¹⁷⁾。Occidental Petroleum社とTexaco社が共同で管理していた北海油田の生産プラットフォームであるPiper Alphaが、1986

16) Reason (1997:76-77)。

17) Reason (1997:78), The Wikimedia Foundation Inc. (2005)。

年7月6日に爆発した。この爆発事故で167名が死亡したのだが、彼らの多くは緊急時に従うべき規則を遵守していたために死亡した。手順書によれば、緊急時には宿泊施設内にある調理室に集合することになっており、プラットフォームで働くほとんどの人がその調理室に集合していた。ところが、調理室が爆発による火柱の通り道になってしまったため、そこに集合していた人々は死亡してしまったのである¹⁸⁾。

c 問題解決活動に基づく計画の失敗（問題解決活動に基づくミステイク）

問題解決活動に基づく計画の失敗とは、未知の状況に対して新たに策定された計画が、当初の目的を達成するためには不適切であることから生じる失敗である。今まで直面したことのない状況では、ルーチン化された行為や既存の規則に基づいた行為を用いることはできない。したがって、そのような状況では、新たな行為を決定するための問題解決活動が必要となる。この失敗は、高次の思考過程で生じる失敗であり、失敗の割合は3つのヒューマンエラーのなかで最も高いと言われている¹⁹⁾。

問題解決活動に基づく計画の失敗の具体例としては、原子力発電所での作業の失敗をあげることができる²⁰⁾。米国の原子力規制委員会（Nuclear Regulatory Commission, NRC）の調査によると、原子力発電所で異常事態が発生した時に安全な状態へ回復させることに失敗するのは、プラントが低出力状態であるか停止状態の場合であることが明らかになった。プラントが最大かそれに近い出力状態のときに異常事態が発生した場合の対処方法については手順書に記載されている。しかし、低出力状態や停止状態ではいかなる作業も禁止するという規則が存在するために、異常事態が発生した場合の対処方法につ

18) 反対に、生存者の大部分は緊急時の規則に違反した行為を行っていた（Reason 1997: 78）。

19) 問題解決活動に基づく行為で失敗する割合について、Reason（1990）では次のように説明している。ヒューマンエラーの絶対数を比較した場合には、ルーチン化された行為の失敗や規則に基づく計画の失敗に比べて問題解決活動に基づく行為で失敗する数は少ない。しかし、人間の行為は、問題解決活動に基づく行為に比べてルーチン化された行為や規則に基づく行為のほうがはるかに多い。したがって、行為の頻度に対するヒューマンエラーの相対的な割合を考えた場合には、問題解決活動に基づく行為の失敗が最も多くなる（Reason 1990: 58-59）。

20) Reason（1997: 77）。

いての記載はほとんど存在しない。結果として、低出力状態や停止状態で異常事態が発生した場合には、プラントの作業者自身の知識や能力のみを頼りにその事態に対処しなければならない。その際に、作業者は低出力状態や停止状態での異常事態という未知の状況で事態をさらに悪化させ、安全な状態への回復を遅らせることが多いのである。

3 ミクロ分析と未解決の問題

本節では、前節で提示したヒューマンエラーの分析枠組みを用いて事故発生の直接の原因となった2つの逸脱行為を分析したうえで、マイクロレベルの分析で解明できない点について述べる。はじめに、1999年9月28日から事故が発生した30日までに行われた硝酸ウラニル溶液の製造作業に着目して、2つの逸脱行為が行われた経緯を明らかにする。次に、2つの逸脱行為が前節で提示した3つのヒューマンエラーのどの形態に分類されるのかを検討する。最後に、事故発生時の現場作業者のみに主要な焦点を当てたマイクロレベルの分析だけでは解決できない問題を提示し、さらに検討すべき点を述べる。

3-1 溶液製造作業の概要²¹⁾

臨界事故を引き起こしたウラン再転換加工作業は、1999年9月10日から開始された。「常陽」第9次操業（以下、第9次操業）と呼ばれるこの作業では、濃縮度18.8%、濃度380グラムウラン／リットル（以下、gU/l）の硝酸ウラニル溶液を57kgU製造することになっていた。転換試験棟での作業は、スペシャルクルーと呼ばれる現場作業員2名が1組になって行われる。第9次操業では、PGとTQ、PJ、TF、THの合計5名のスペシャルクルーが再転換加工作業に携わった。

21) 溶液製造作業の概要については、『冒頭陳述書』2001.4.23のほか、『平成12年（わ）第865号判決』2003.3.3、『供述調書：PG』2000.10.24、日本原子力学会JCO事故調査委員会（2005）、清水（2000,2003）を参考にした。

作業開始から18日が経過した9月28日に仮焼工程までが終了し、約7バッチ(16.8kgU)分の精製八酸化三ウラン粉末が製造された。硝酸ウラニル溶液の製造は9月29日の午後1時頃から開始された。5名の現場作業者にとって硝酸ウラニル溶液の製造は今回が初めてだったため、通常2名で作業するところをPGとTQ、PJの3名のスペシャルクルーで作業を行った。9月29日には4バッチ(9.6kgU)分の精製八酸化三ウランを再溶解し、午後3時頃までに4バッチ分の硝酸ウラニル溶液を沈殿槽に注入して作業を終了した。

翌9月30日、TQとPJは午前8時半頃から残り3バッチ(7.2kgU)分の精製八酸化三ウランの再溶解作業を開始した。午前10時頃までに3バッチ分の再溶解作業を終え、あとは濾過して沈殿槽に入れればよいという状態で休憩をとった。午前10時20分頃に休憩を終えたTQとPJは、転換試験棟の作業の進捗状況を確認するために休憩室に来ていたPGと一緒に転換試験棟へ戻り、作業を再開した。

2バッチ半(6.0kgU)分の硝酸ウラニル溶液については、PJが濾過作業を行い、PGが沈殿槽上部のハンドホールと呼ばれる穴に差し込んだ漏斗を支え、TQが濾過した硝酸ウラニル溶液を漏斗に注ぎ込んでいた。残り約0.5バッチ(1.2kgU)になったところでPJが最後の硝酸ウラン溶液の濾過作業を終えたため、PGに代わってPJが漏斗を支えることになった。PGは、ウランの濃度を計算するために沈殿槽のある還元室と壁一枚隔てた場所にある机に向かった。午前10時35分頃、PJが漏斗を支え、TQが前日から通算して7バッチ(16.8kgU)目の硝酸ウラニル溶液を沈殿槽へ注入していると、臨界が発生した。

3-2 逸脱行為のマイクロ分析

事故発生時に現場作業者が行った2つの逸脱行為をヒューマンエラーの観点から分析する。分析では、(1) 2つの逸脱行為はヒューマンエラーか否か、(2) ヒューマンエラーである場合に、それが「行為の失敗」か「計画の失敗」か、(3) 「計画の失敗」である場合に、それが「規則に基づく計画の失敗」か「問題解決活動に基づく計画の失敗」かについて考察する。

a ヒューマンエラーか否か

はじめに、2つの逸脱行為がヒューマンエラーであるか否かについて検討する。ヒューマンエラーであるためには、偶発的な事象が介入せず、事前の意図が存在しなければならない。事故発生時の作業を検討してみると、2つの逸脱行為に関連して偶発的な事象が介入した事実は存在しないし、衝動的な行為や自動症による発作のような事前の意図を持たない行為があったという事実も存在しない。とりわけ、沈殿槽を使用するという行為が、偶発的な事象が介入することによって行われたり、衝動的に行われてしまったと考えることはそもそも難しいだろう。以上のことから、2つの逸脱行為はいずれもヒューマンエラーだったと考えることができる。

b 「行為の失敗」か「計画の失敗」か

次に、2つのヒューマンエラーが「行為の失敗」であるか「計画の失敗」であるかについて検討する。2つの逸脱行為は不注意や過剰な注意のために当初計画していた行為プロセスから外れてしまったものなのだろうか。それとも、計画の段階で考えていた行為プロセス自体が既に不適切だったのだろうか。事故発生時の作業を検討してみると、いずれの逸脱行為も「計画の失敗」であることがわかる。

臨界事故が発生した9月30日の作業を行う前の段階で、硝酸ウラニル溶液の製造について現場作業者の間では次のような作業手順が計画されていた²²⁾。再溶解工程では、第9次操業以前に行われていた作業と同様に、1バッチ（約2.4kgU）分の精製八酸化三ウラン粉末をステンレス製のバケツ（以下、バケツ）に入れ、バケツを電熱器にのせて加熱し、バケツに純水を加え、さらに硝酸を少量ずつ加えながらスプーンでかき混ぜるという手順が想定されていた。また、混合・均一化工程では、再溶解工程で生成された硝酸ウラニル溶液をスッチェと呼ばれる濾過器を用いて濾過し、濾過された硝酸ウラニル溶液をステンレス製のビーカー（以下、ビーカー）で受け、ハンドホールに

22) 『冒頭陳述書』2001.4.23, 『平成12年（わ）第865号判決』2003.3.3, 『供述調書：PG』2000.10.21, 『供述調書：PG』2000.10.24, 『供述調書：PG』2000.10.29a。

差し込まれた漏斗を通して沈殿槽に硝酸ウラニル溶液を注入し²³⁾、7バッチ分のウランが注入された段階で混合・均一化するという手順が想定されていた。

以上のことから、大量のウランを取り扱うことと沈殿槽を使用するという2つの逸脱行為は事前に計画されていたということがわかる²⁴⁾。事故発生時の現場作業者は、事前に計画された作業を忠実に実行していたけれども、計画自体が不適切だった。したがって、これら2つの逸脱行為は「計画の失敗」として分類されるヒューマンエラーだったと考えることができる。

c 「規則に基づく計画の失敗」か「問題解決活動に基づく計画の失敗」か

最後に、2つのヒューマンエラーが「規則に基づく計画の失敗」であるか「問題解決活動に基づく計画の失敗」であるかについて検討する。過去の経験や訓練、あるいは文章化された規則や規準、手順などに基づいて策定された計画が不適切である場合には、「規則に基づく計画の失敗」として分類される。それに対して、未知の状況に対する問題解決活動によって策定された計画が不適切である場合には、「問題解決活動に基づく計画の失敗」として分類される。事故発生時の作業を検討してみると、大量のウランの取り扱いが「規則に基づく計画の失敗」であり、沈殿槽の使用は「問題解決活動に基づく計画の失敗」であることがわかる。

大量のウランの扱いは、事故発生時の現場作業者が前任者から受け継いだ作業方法だった。第9次操業の作業に携わった5名のスペシャルクルーのなかで、PGとTFは、事故の前年である1998年に行われた「常陽」第8次操業（以下、第8次操業）が初めての転換試験棟での作業であり、その際に、転換試験棟の作業に精通していたDRから現場での実地訓練（OJT）という形で転

23) 硝酸ウラニル溶液を沈殿槽へ注入する際に漏斗を使用することは、混合・均一化作業に沈殿槽を使用することを決めたあとに、PGとTQ、PJの話し合いによって硝酸ウラニル溶液を沈殿槽外にこぼさないための方法として考案された（『供述調書：PG』2000.10.24:19）。

24) 正確には、第9次操業の硝酸ウラニル溶液製造が開始された9月29日の時点でこれら2つの逸脱行為は計画されていた（『供述調書：PG』2000.10.24）。

換試験棟の作業方法を教わっていた²⁵⁾。7バッチ分の硝酸ウラニル溶液をひとまとめにして混合・均一化することについて、PGとTFは第8次操業の作業中にDRから聞いていたのである。第9次操業で7バッチ分の硝酸ウラニル溶液をひとまとめにして取り扱うという行為は、第8次操業時にDRから受けた教育に基づくものだった。

さらに、この逸脱作業は、事故発生当時の作業手順書にも記載されていた²⁶⁾。図5は、事故発生当時に使用されていた硝酸ウラニル溶液製造の作業手順書から、手順書の表紙と逸脱作業に関連した箇所を抜粋したものである。下線部で示した部分を見るとわかるように、再溶解工程で生成された硝酸ウラニル溶液を貯塔へ移す際に6～7バッチ分の硝酸ウラニル溶液を移す旨の記述が存在する。しかし、このような作業方法は、事故を起こさずに硝酸ウラニル溶液を製造するという目的に対して必ずしも適切な方法ではなかった。以上のことから、大量のウランの取り扱いが「規則に基づく計画の失敗」であったと考えることができる。

25) 『第13回公判調書：PG』2002.2.18: 4-8, 『供述調書：TF』2000.5.24: 17-18, 『供述調書：PG』2000.10.21: 10-21, 『供述調書：PG』2000.10.29a: 9, 『供述調書：PG』2000.10.29b: 4。

26) 『供述調書：PG』2000.10.29b: 資料二。

<p>① 目的</p> <p>目的、達成状況 (達成・未達成) 出席者数</p> <p>② 出席者</p> <p>③ 出席者名</p> <p>④ 出席者名</p> <p>⑤ 出席者名</p> <p>⑥ 出席者名</p> <p>⑦ 出席者名</p> <p>⑧ 出席者名</p> <p>⑨ 出席者名</p> <p>⑩ 出席者名</p> <p>⑪ 出席者名</p> <p>⑫ 出席者名</p> <p>⑬ 出席者名</p> <p>⑭ 出席者名</p> <p>⑮ 出席者名</p> <p>⑯ 出席者名</p> <p>⑰ 出席者名</p> <p>⑱ 出席者名</p> <p>⑲ 出席者名</p> <p>⑳ 出席者名</p> <p>㉑ 出席者名</p> <p>㉒ 出席者名</p> <p>㉓ 出席者名</p> <p>㉔ 出席者名</p> <p>㉕ 出席者名</p> <p>㉖ 出席者名</p> <p>㉗ 出席者名</p> <p>㉘ 出席者名</p> <p>㉙ 出席者名</p> <p>㉚ 出席者名</p> <p>㉛ 出席者名</p> <p>㉜ 出席者名</p> <p>㉝ 出席者名</p> <p>㉞ 出席者名</p> <p>㉟ 出席者名</p> <p>㊱ 出席者名</p> <p>㊲ 出席者名</p> <p>㊳ 出席者名</p> <p>㊴ 出席者名</p> <p>㊵ 出席者名</p> <p>㊶ 出席者名</p> <p>㊷ 出席者名</p> <p>㊸ 出席者名</p> <p>㊹ 出席者名</p> <p>㊺ 出席者名</p> <p>㊻ 出席者名</p> <p>㊼ 出席者名</p> <p>㊽ 出席者名</p> <p>㊾ 出席者名</p> <p>㊿ 出席者名</p>	<p>① 目的</p> <p>目的、達成状況 (達成・未達成) 出席者数</p> <p>② 出席者</p> <p>③ 出席者名</p> <p>④ 出席者名</p> <p>⑤ 出席者名</p> <p>⑥ 出席者名</p> <p>⑦ 出席者名</p> <p>⑧ 出席者名</p> <p>⑨ 出席者名</p> <p>⑩ 出席者名</p> <p>⑪ 出席者名</p> <p>⑫ 出席者名</p> <p>⑬ 出席者名</p> <p>⑭ 出席者名</p> <p>⑮ 出席者名</p> <p>⑯ 出席者名</p> <p>⑰ 出席者名</p> <p>⑱ 出席者名</p> <p>⑲ 出席者名</p> <p>⑳ 出席者名</p> <p>㉑ 出席者名</p> <p>㉒ 出席者名</p> <p>㉓ 出席者名</p> <p>㉔ 出席者名</p> <p>㉕ 出席者名</p> <p>㉖ 出席者名</p> <p>㉗ 出席者名</p> <p>㉘ 出席者名</p> <p>㉙ 出席者名</p> <p>㉚ 出席者名</p> <p>㉛ 出席者名</p> <p>㉜ 出席者名</p> <p>㉝ 出席者名</p> <p>㉞ 出席者名</p> <p>㉟ 出席者名</p> <p>㊱ 出席者名</p> <p>㊲ 出席者名</p> <p>㊳ 出席者名</p> <p>㊴ 出席者名</p> <p>㊵ 出席者名</p> <p>㊶ 出席者名</p> <p>㊷ 出席者名</p> <p>㊸ 出席者名</p> <p>㊹ 出席者名</p> <p>㊺ 出席者名</p> <p>㊻ 出席者名</p> <p>㊼ 出席者名</p> <p>㊽ 出席者名</p> <p>㊾ 出席者名</p> <p>㊿ 出席者名</p>	<p>① 目的</p> <p>目的、達成状況 (達成・未達成) 出席者数</p> <p>② 出席者</p> <p>③ 出席者名</p> <p>④ 出席者名</p> <p>⑤ 出席者名</p> <p>⑥ 出席者名</p> <p>⑦ 出席者名</p> <p>⑧ 出席者名</p> <p>⑨ 出席者名</p> <p>⑩ 出席者名</p> <p>⑪ 出席者名</p> <p>⑫ 出席者名</p> <p>⑬ 出席者名</p> <p>⑭ 出席者名</p> <p>⑮ 出席者名</p> <p>⑯ 出席者名</p> <p>⑰ 出席者名</p> <p>⑱ 出席者名</p> <p>⑲ 出席者名</p> <p>⑳ 出席者名</p> <p>㉑ 出席者名</p> <p>㉒ 出席者名</p> <p>㉓ 出席者名</p> <p>㉔ 出席者名</p> <p>㉕ 出席者名</p> <p>㉖ 出席者名</p> <p>㉗ 出席者名</p> <p>㉘ 出席者名</p> <p>㉙ 出席者名</p> <p>㉚ 出席者名</p> <p>㉛ 出席者名</p> <p>㉜ 出席者名</p> <p>㉝ 出席者名</p> <p>㉞ 出席者名</p> <p>㉟ 出席者名</p> <p>㊱ 出席者名</p> <p>㊲ 出席者名</p> <p>㊳ 出席者名</p> <p>㊴ 出席者名</p> <p>㊵ 出席者名</p> <p>㊶ 出席者名</p> <p>㊷ 出席者名</p> <p>㊸ 出席者名</p> <p>㊹ 出席者名</p> <p>㊺ 出席者名</p> <p>㊻ 出席者名</p> <p>㊼ 出席者名</p> <p>㊽ 出席者名</p> <p>㊾ 出席者名</p> <p>㊿ 出席者名</p>
---	---	---

図 5 逸脱作業記載の作業手順書

出所：『供述調書：PG』2000.10.29b: 資料二。

それに対して、沈殿槽の使用は、未知の状況に対する問題解決活動によって策定された作業方法だった²⁷⁾。9月28日に仮焼工程が終了したあと、PGは29日から硝酸ウラニル溶液の製造を開始できるように混合・均一化作業で使用する貯塔の準備を終わらせようと考え、貯塔に硝酸ウラニル溶液を循環させるための仮配管の接続を行った。しかしこの時、彼は貯塔を用いることによる問題点に気がついた。問題点は主に2つあった。

第1に、溶液の出し入れをするバルブの先端が床から約10cmという低い位置にあるために、作業者は這いつくばるような姿勢で硝酸ウラニル溶液の抜き出し作業を行わなければならなかった。溶液を抜き取る作業では、製品を受け取る容器の表面に硝酸ウラニル溶液が付着しないよう十分な注意を払わなければならず、慎重な作業が要求される。這いつくばるような姿勢でこのような慎重な作業を行うのは面倒なことだとPGは思ったのである。

第2に、デッドスペースが存在するために、大量のスクラップが生じるおそれがあった。図6は、貯塔に仮配管を接続した場合にデッドスペースとなる可能性のある箇所を示した図である。図中の矢印で指し示した場所がデッドスペースになる可能性のある箇所である。デッドスペースには硝酸ウラニル溶液が滞留してしまい、滞留した溶液は均一化されずにスクラップになってしまう。一度に使用する原料の量は決まっているため、デッドスペースが存在することによってスクラップが大量に発生してしまうと、最終的に製造される硝酸ウラニル溶液の量が発注量に満たなくなる可能性がある。PGは、そのような事態が生じることは問題だと思ったのである。

27) 『第13回公判調書：PG』2002.2.18: 19-26, 『供述調書：PG』2000.10.24: 3-20, 『供述調書：PG』2000.10.28: 2-3, 『供述調書：PG』2000.10.29a: 2。

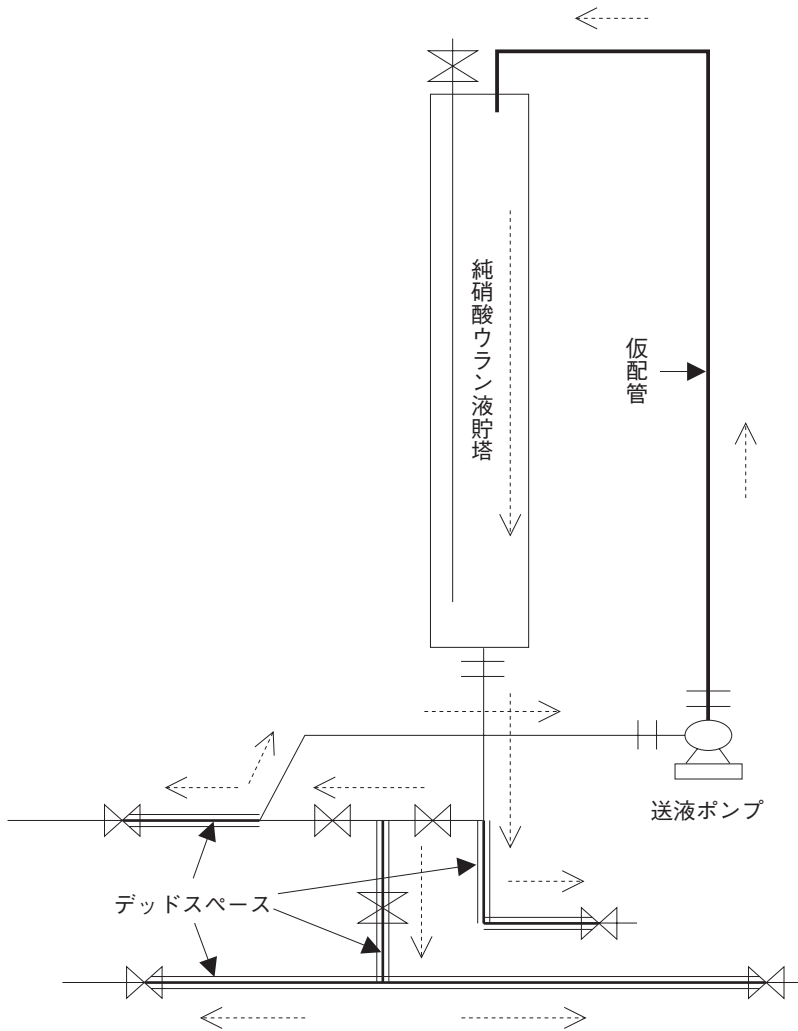


図6 デッドスペース

出所：『供述調書：UD』2000.10.16：添付資料に基づいて著者が作成。

貯塔を用いることによるこれら2つの問題点に気がついたPGは、その旨をTQに伝えた。するとTQは、沈殿槽を用いて硝酸ウラニル溶液の混合・均一化作業を行うことを提案した。沈殿槽を使用すれば、硝酸ウラニル溶液の抜き口が腰の高さほどの位置にあるため楽な姿勢で溶液の抜き取り作業が可能になり、デッドスペースがほとんど存在しないためにスクラップが大量に発生することもなくなる。さらに、沈殿槽上部には硝酸ウラニル溶液を入れるのに都合の良いハンドホールがあり、沈殿槽内部にはプロペラ状の攪拌機も存在するため、効率的に混合・均一化するには好都合の設備である。PGとPJもこれらの利点からTQの提案に賛成し、混合・均一化作業は沈殿槽を用いて行うことに決定した。

以上のように、仮配管を接続した貯塔で混合・均一化作業を行うことに関してこれまで直面したことの無い問題点に気づいたPGら現場作業者は、沈殿槽を用いて硝酸ウラニル溶液の混合・均一化を行うという解決策を導き出したのである。しかし、このような作業方法は、事故を起こさずに硝酸ウラニル溶液を製造するという目的に対して不適切な方法だった。以上のことから、沈殿槽の使用は「問題解決活動に基づく計画の失敗」であったと考えることができる。

3-3 未解決の問題

ヒューマンエラーの分析枠組みを適用することによって、JCO臨界事故は「規則に基づく計画の失敗」と「問題解決活動に基づく計画の失敗」の組み合わせによって発生したことが明らかになった。事故当時の現場作業者は、前任者からの教育に基づいて大量のウランを取り扱うという不適切な決定を行った。また、彼らは仮配管を接続した貯塔を用いて混合・均一化作業を行うことによる問題に対して、沈殿槽を使用するという不適切な決定を行った。JCO臨界事故は、これら2つの不適切な決定に基づく行為によって発生したのである。

以上のように、ヒューマンエラーの分析枠組みは、臨界事故発生時に現場作業者が行った逸脱行為の特徴を明らかにするうえで有用な視点であることは確かである。しかしながら、JCO臨界事故の全貌を解明しようとする場合に、このようなマイクロレベルの分析枠組みを用いるだけでは不十分である。以下で

は、事故発生時に現場作業者によって行われた2つの逸脱行為をさらに具体的に検討することによって、マイクロレベルの分析では解決できない問題を提示し、問題を解決するためには分析範囲を空間的にも時間的にも拡張する必要があることを主張する。

a 大量のウランの取り扱い

現場作業者による大量のウランの取り扱いが「規則に基づく計画の失敗」であることは明らかになったけれども、さらに検討すべき点として少なくとも2つの問題が存在する。第1の問題は、一度に大量のウランを取り扱うという規則自体がどのような経緯で作られたのかという点である。上述したように、ウランの取扱量に関する現場作業者の行為は、現場の作業者が自ら設定したのではなく、転換試験棟での経験を蓄積した前任者からの教育によって規定されたものであり、さらに当時の作業手順書のなかでも規定されていた。事故発生時の現場作業者が行うことになったこの逸脱行為がどのような経緯で生み出され、どのような経緯で作業手順書に記載されることになり、どのような経緯で前任者から事故発生時の現場作業者に伝承されることになったのかについては、事故発生時の現場作業者のみに焦点を当てたマイクロレベルの分析からは解明することができない。

第2の問題は、前任者であるDRから教育を受けた時に、なぜPGとTFはその作業が臨界事故をも起こしかねないほど危険性の高い作業であると考えなかったのかという点である。実際にPGは、一度に7バッチもの大量のウランを取り扱うことに対してそれほどの危険性を感じていなかった。一度に大量のウランを取り扱うことに対する危険性について、彼は次のように述べている。

私は、貯塔に入れて混合することとなっていた7バッチの硝酸ウラニル溶液が臨界を発生させる性質を持つものとは思っておらず、そのような恐ろしい性質のものが貯塔に入れられ〔てい〕るとは考えていませんでした。
(『供述調書：PG』2000.10.29a: 10)

規定量から若干上回る量、たとえば1.5バッチ程度のウランを一度に取り扱っ

たということであるならば、まだ常識の範囲内の行為であるとして理解することも可能であろう。しかし、規定量の7倍もの硝酸ウラニル溶液を一度に取り扱うということになれば、臨界事故を起こす可能性も高くなり、もし事故が起これば自らの命をも落としかねないと考え、したがってそのような作業は行わないほうがよいと考えるのが普通であろう。PG自身も、ウランの取り扱い方法を間違えると臨界を引き起こし、大勢の人が死亡するような事態になってしまうことを十分認識していた²⁸⁾。そうであるにもかかわらず、彼は大量のウランを取り扱うことに対して何ら危険性を感じず、実際に7バッチ近くのウランを一度に取り扱ってしまったのである。

この点をさらに解明するためには、事故発生時の現場作業者がウランの取り扱いについてどのような知識を蓄積してきたのかについてのさらなる検討が必要だろう。現場作業者の知識の蓄積は、次の2つの影響を受けていると考えられる。第1に、JCOへ入社してから、彼らがどのような業務を経験してきたのかということである。第2に、JCOへ入社してから、彼らがどのような教育を受けてきたかということである。これら2つのことを明らかにするためには、JCOの人事政策や教育体制の実態を検討することが重要になる。しかし、事故発生時の現場作業者のみに焦点を当てたマイクロレベルの分析からは、これらの実態を十分に解明することができない。

b 沈殿槽の使用

現場作業者による沈殿槽の使用が「問題解決活動に基づく計画の失敗」であることは明らかになったけれども、さらに検討すべき点として少なくとも2つの問題が存在する。第1の問題は、事故発生時の現場作業者が、沈殿槽を使用することが危険性の高いことであると考えなかったのはなぜなのかという点である。大量のウランの取り扱いと同様に、PGは、沈殿槽を使用することに対してもそれほどの危険性を感じていなかった。沈殿槽の使用に対する危険性について、彼は次のように述べている。

28) 『供述調書：PG』2000.10.24: 3, 『供述調書：PG』2000.10.31: 2-3。

……沈殿槽を使うということは、臨界を起こすもので絶対にやってはいけないことなのですが、私にとって、沈殿槽で7バッチの硝酸ウラニル溶液を攪拌するということが、ごく当たり前の発想だったのです。(『供述調書：PG』2000.10.28: 2)

この点についても、現場作業者がJCOに入社してからどのような業務を経験し、どのような教育を受けてきたのかについてのさらに詳細な検討が必要であり、JCOの人事政策や教育体制の実態を明らかにすることが重要になる。しかし、事故発生時の現場作業者のみに焦点を当てたマイクロレベルの分析からは、このような教育体制の実態を十分に解明することができない。

第2の問題は、現場作業者が主導して沈殿槽の使用を決定したことについて上位階層の者による承認を受けていたのか否か、承認を受けていた場合に、なぜ彼は承認を与えたのかという点である。沈殿槽の使用は、硝酸ウラニル溶液の混合・均一化作業に貯塔を用いることの問題点に初めて直面したPGら現場作業者が自発的に意思決定した作業方法であった。通常、それまで直面したことのない状況に対して現場作業者が自発的に意思決定するような事項については、必ずその旨を上位階層の行為者に報告し、彼の承認を受けなければならない。つまり、「問題解決活動に基づく計画の失敗」が生じた場合には、上位階層の者による承認の有無についてさらに検討する必要があるのである。しかしながら、事故発生時の現場作業者のみに焦点を当てたマイクロレベルの分析からは、このような点まで解明することができない。

実際にPGは、貯塔に替えて沈殿槽を使用することについて計画グループの主任であるDJに報告を行い、DJから沈殿槽使用の承認を受けていた²⁹⁾。9月28日に混合・均一化作業で沈殿槽を使用することを現場作業者の間で決定したあと、PGはこの決定をDJに報告し、承認を受けなければならないと考えた。翌

29) 沈殿槽使用の承認プロセスについては、『第13回公判調書：PG』2002.2.18のほか、『第14回公判調書：DJ』2000.2.28、『供述調書：DJ』2000.9.2、『供述調書：DJ』2000.10.23、『供述調書：DJ』2000.10.25、『供述調書：DJ』2000.11.1、『供述調書：PG』2000.10.24、『供述調書：PG』2000.10.29a、『供述調書：PG』2000.10.31を参考にした。

9月29日の午後0時15分頃、JCOの食堂前でDJと会ったPGは、DJに対して混合・均一化工程で沈殿槽を用いることの是非について問い合わせた。そのような問い合わせに対してDJは、午後1時頃に沈殿槽を用いることを承認する旨の連絡をPGに行ったのである。

以上のように、PGは、問題解決活動に基づく計画を実行に移す以前の段階で上位階層の者へ報告し、彼の承認を受けていた。ここで、さらに検討すべき問題が出てくる。なぜDJは沈殿槽の使用を承認してしまったのかという点である。PGがDJに対して問い合わせを行った時に、もしDJが沈殿槽の使用を承認しなかったとしたら、少なくとも9月30日に臨界事故は起こらなかっただろう。事故の発生をより詳細に解明するためには、DJが沈殿槽を承認することになった原因についてさらに検討しなければならない。しかしながら、上位階層の者による承認の有無についての検討と同様に、事故発生時の現場作業者のみに焦点を当てたマイクロレベルの分析からは、このような点まで解明することができない。

c 分析範囲拡張の必要性

マイクロレベルの分析で明らかになった以上の問題を解決するには、分析範囲を拡張する必要がある。拡張すべき分析範囲として、相互に関係する次の2つの点を考慮しなければならない。第1に、空間的な分析範囲の拡張が必要である。マイクロレベルの分析では、事故の直接的な当事者のみを主要な分析対象としているために、当事者を越えた対象や、その対象との関係性について必ずしも十分な考察ができない。第2に、時間的な分析範囲の拡張が必要である。マイクロレベルの分析では、事故に至る比較的短い期間を分析単位としており、長期的な過程について必ずしも十分な考察ができない。これら2つの点について、これまで紹介した事例の範囲内で確認してみよう。

大量のウランの取り扱いに関しては、第1に、大量のウランを取り扱うことが記載された公式的な作業手順書が作られた経緯についてさらに検討しなければならないことが明らかになった。この点の検討を行うためには、図5の表紙の「作成」・「発行」・「審査」・「承認」欄に押印した者を含めて、作業手順書の作成に係わることになった現場作業者やより上位階層の者に関するさらなる検討

が必要であり、空間的な分析範囲の拡張が必要となる。また、このことは、必然的に作業手順書の作成時点まで遡ったより長期的な過程についての検討が必要になるということも意味しており、時間的な分析範囲の拡張も必要になる。第2に、ウランの取扱量とその危険性に関する現場作業者の知識蓄積過程をさらに検討しなければならないことが明らかになった。この点に関しては、上位階層の者によって長期にわたって行われてきた臨界安全教育や人事政策、現場作業者の作業経験について検討することが必要であり、したがって空間的・時間的な分析範囲の拡張が必要となる。

沈殿槽の使用に関しては、第1に、沈殿槽の使用とその危険性に関する現場作業者の知識蓄積過程をさらに検討しなければならないことが明らかになった。この点に関しても、上位階層の者によって長期にわたって行われてきた臨界安全教育や人事政策、現場作業者の作業経験について検討することが必要であり、したがって、空間的・時間的な分析範囲の拡張が必要となる。第2に、計画グループの主任であるDJが沈殿槽の使用を承認した原因についてさらに検討しなければならないことが明らかになった。この点に関しては、事故発生までに築かれてきたDJと現場作業者の関係性や、沈殿槽の使用とその危険性に関するDJの知識蓄積過程をさらに検討することが必要であり、したがって、空間的・時間的な分析範囲の拡張が必要となる。

[参考文献]

(書籍・論文・資料)

- 原子力資料情報室, 1999, 『恐怖の臨界事故』岩波書店。
- 原子力安全委員会ウラン加工工場臨界事故調査委員会, 1999, 『原子力安全委員会 ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告』科学技術庁。
- 科学技術振興機構, 2004, 『原子力百科事典ATOMICA』
(<http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/index.html>, 2005. 1. 27)。
- 飯田博美, 1996, 『放射線用語辞典 (第4版)』東商産業研究社。
- 日本原子力学会JCO事故調査委員会, 2005, 『JCO臨界事故 その全貌の解明: 事実・要因・対応』東海大学出版会。
- 日本核燃料コンバージョン株式会社, 1994, 『加工事業許可の内容』。
- 日本核燃料コンバージョン株式会社, 1984, 『核燃料物質の加工施設に関する設計及び工事の方法についての許可申請書 (2)』。
- Norman, Donald A., 1988, *The Psychology of Everyday Things*, New York: Basic Books. (=1990, 野島久雄訳『誰のためのデザイン?: 認知科学者のデザイン原論』新曜社。)
- 岡本浩二, 2001, 「核燃料臨界事故: 社会心理学的考察」大山正・丸山康則編『ヒューマンエラーの心理学: 医療・交通・原子力事故はなぜおこるのか』麗澤大学出版会, 53-77。
- 大山正・丸山康則編, 2001, 『ヒューマンエラーの心理学: 医療・交通・原子力事故はなぜおこるのか』麗澤大学出版会。
- Rasmussen, Jens, 1982, "Human Errors: A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installations," *Journal of Occupational Accidents*, 4: 311-333.
- Rasmussen, Jens, 1983, "Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13 (3): 257-266.
- Reason, James, 1990, *Human Error*, Cambridge: Cambridge University Press. (=1994, 林喜男監訳『ヒューマンエラー: 認知科学的アプローチ』海文堂。)
- Reason, James, 1995, "A System Approach to Organizational Error," *Ergonomics*, 38 (8): 1708-1721.
- Reason, James, 1997, *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Aldershot: Ashgate. (=1999, 塩見弘監訳・高野研一・佐相邦英訳『組織事故: 起こるべくして起こる事故からの脱出』日科技連。)
- 清水洋, 2000, 『東海村臨界事故』一橋大学イノベーション研究センター。
- 清水洋, 2003, 「ビジネスケース 茨城県東海村臨界事故: 組織の危機管理」『一橋ビジネスレビュー』50 (4): 147-161。
- 館野淳・野口邦和・青柳長紀, 2000, 『徹底解明 東海村臨界事故』新日本出版社。
- The Wikimedia Foundation Inc., 2005, "From Wikipedia, the Free Encyclopedia"
(http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page, September 13, 2005)。
- ウィキメディア財団, 2005, 「フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』」
(<http://ja.wikipedia.org/wiki/メインページ>, 2005.6.8)。

(刑事確定訴訟記録)

『冒頭陳述書』2001.4.23。

『第13回公判調書：PG』2002.2.18。

『第14回公判調書：DJ』2002.2.28。

『平成12年（わ）第865号判決』2003.3.3。

『供述調書：DJ』2000.9.2。

『供述調書：DJ』2000.10.23。

『供述調書：DJ』2000.10.25。

『供述調書：DJ』2000.11.1。

『供述調書：HQ』2000.5.26。

『供述調書：PG』2000.10.21。

『供述調書：PG』2000.10.24。

『供述調書：PG』2000.10.28。

『供述調書：PG』2000.10.29a。

『供述調書：PG』2000.10.29b。

『供述調書：PG』2000.10.31。

『供述調書：TF』2000.5.24。

『供述調書：UD』2000.10.16。

『捜査報告書』2000.2.17。

『捜査報告書』2000.2.21。

『捜査報告書』2000.10.29。