T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	福島第一原子力発電所事故におけるリスクマネジメント上の課題分析 ～津波に対するリスクマネジメント戦略の分析を通じて～
Title(English)	
著者(和文)	平野琢
Author(English)	Taku Hirano
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10246号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤村 修三,橋本 正洋,池上 雅子,辻本 将晴,梶川 裕矢,山口 栄一,中村 昌允
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10246号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

福島第一原子力発電所事故におけるリスクマネジメント上の課題分析
～津波に対するリスクマネジメント戦略の分析を通じて～
（要約）

東京工業大学大学院
イノベーションマネジメント研究科　イノベーション専攻藤村研究室
平野　琢（Hirano　Taku）
指導教員　藤村修三

1.　本研究の目的

本研究の目的は、リスク学（risk study）の視点から 2011 年 3 月の東北太平洋沖地震を契機として発生した、福島第一原子力発電所における原子力災害（以下、福島第一原子力発電所事故）を分析し、当該産業事故の背後にある電力企業のリスクマネジメント上の課題、および課題をもたらした背景要因を考察することである。また最終的には、福島第一原子力発電所事故における事例から帰納的に、「不確実性リスク[1]」に対するリスクマネジメント戦略（risk management strategy）に関する仮説を提示することを試みる。なお、本研究はリスクマネジメントを主眼にした研究であり事故発生後の東京電力による事故収束活動、即ちクライシスマネジメントにおける妥当性の検証は研究の対象外としている。

本研究は大別して 3 つの研究から構成される。第一は、福島第一原子力発電所事故の主因の一つとされる津波に対する東京電力株式会社（以下、東京電力）のリスクマネジメントの妥当性を再検証し、事故の背景にあるリスクマネジメント上の課題を明らかにする研究である。結論を先取りすれば、東京電力の津波に対するリスクマネジメントには、明確な錯誤が存在することが明らかにされた。第二は、第一の研究における発見事実を基に東京電力がリスクマネジメントの失敗がもたらされた背景要因を明らかにする研究である。第二の研究では、先行研究であまり検討されていない日本の原子力法制および原子力技術分野における専門職倫理の教育・制度の様相に焦点を当てこれを検討した。そして、第三は、第一の研究における発見事実を基に「不確実性リスク」に対するリスクマネジメント戦略（risk management strategy）の有りように関して仮説構築を試みる研究である。本研究はこの 3 つの研究にあわせて 3 部に構成される。

---

[1] 「不確実性リスク（Uncertain risk）」とは危険事象（hazard）の主因や因子の因果関係は特定できているが、各構成因子の科学的な定量化が難しい、あるいは情報の不足によって、危険事象の正確な潜在的危害規模と発生確率が求められないリスクのことである。このリスクは、危険事象の存在が明白であり、且つ不確実性を伴うが、その潜在的危害規模と発生確率の予測が可能となるため、リスク対応主体は暫定的なリスク評価に対して対策を講じることが可能となる。事例としては、地震や火山の噴火、SARS（重症急性呼吸器症候群；Severe Acute Respiratory Syndrome）等の新しい病気の伝染リスク等が挙げられる。

2. 福島原子力発電所事故の構図とリスクマネジメント上の課題
～第一部の研究の要約～

本研究の第一部の研究では、福島第一原子力発電所事故を分析した先行研究において混乱する津波に対する東京電力のリスクマネジメントの妥当性を、先行研究において看過されている視点を補完しながら再検証し、その課題を明らかにした。

第一部の研究では、はじめに既存の事故調査報告書や行政や司法の実務が下した東京電力の津波リスクのマネジメントに対する妥当性判断を俯瞰した。俯瞰した場合、これらの判断は妥当性の有無から、課題の所在に至るまで相対した判断を下している事が明らかになった。また、判断の内容を詳しく分析した場合、それらの判断が東北大津波のリスクを予見可能であったか否かの二項対立で捉えており、リスクの大きさ（被害規模×発生頻度）が科学の進歩によって斬新的に解明される過程を看過している事を指摘した。そして、これを事由に先行研究において東京電力の津波に対するリスクマネジメントは正確に評価されていない可能性を示唆した。

次に第一部の研究では、リスクマネジメントの妥当性評価を体系的に行うために、リスク学の既存研究の検討を基に、その妥当性評価のためのモデル構築を試みた。先行研究の検討の結果、リスクマネジメントの妥当性は①リスクの大きさ（被害規模×発生頻度）に対して適切であるとともに、②リスクの大きさの導出根拠となる科学知の不確定性（知識状況）に対しても適切でなければならならず、この 2 点を基準に評価すべきであることを示した。そして、国会・内閣・東京電力の 3 つの事故調査報告書及び、福島第一原子力発電所事故を研究対象とした先行研究が、本研究の妥当性評価モデルにおいて示した 2 点を基に津波に対するリスクマネジメントの妥当性評価が為されているかを確認した。結果、リスクマネジメントの妥当性評価において科学知の不確定性（知識状況）に対する分析が、先行文献において看過されており、リスクマネジメントの評価のとしては不十分であることを確認した。

続いて、第一部の研究では、この看過されている視点を補完した上で、東京電力のリスクマネジメントの妥当性の再検証を行った。本研究では、はじめに先行研究において東北太平洋沖地震・津波の発生を示唆していたリスク情報とされる貞観型津波および福島県沖の津波地震に関する科学知の知識状況、及びそれらの科学知が示していたリスクの大きさ（被害規模×発生頻度）について分析した。分析は、これらの地震に関する科学論文および公官庁の報告書の内容分析を通じて行われた。結果、貞観型津波および福島県沖の津波地震の危険性は 1990 年以降に、その危害規模が急速に明らかになり、震災以前には福島第一原子力発電所にとって危険な規模の津波であることが示唆されていた。しかしながら、２つの津波に関する研究は、震災以前に津波の規模や発生頻度の全容の特定には至っておらず、これらの 2 つの津波のリスクは不確実性リスクであることが示された。なお、震災以前に二つの津波に関する研究が示した、想定津波の規模は東北太平洋沖地震において実際に発生した津波（以下、東北大津波）の規模よりもはるかに低く、震災以前に東北大津

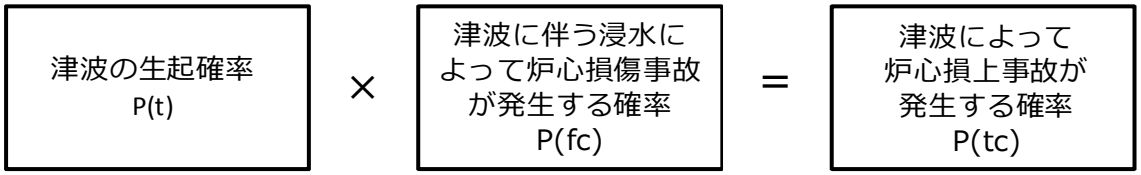
波が予見可能であるとする判断は間違えであることも示された。

次に、明らかになった知識状況の変化に対して東京電力が講じたマネジメントを歴史的に分析し、その内容を明らかにすると供に、震災以前の福島第一原子力発電所が津波に対して有していた頑強性を分析した。分析の結果、以下の点が示された。東京電力は貞観型津波および福島県沖の津波地震に関して、最新の情報を知り得る状況にあり、科学知の進歩とほぼ並行して津波に関する科学知を得ていた。東京電力は、震災以前の科学知から、暫定的ではあったが貞観津波と同型の津波が再来した場合、最低でも遡上高が約 11m~15m となりうる津波の発生すること。そして、その津波の遡上高は同時多発的な炉心損傷事故をもたらす敷地高への浸水をもたらすものであることを認識していた。しかしながら、これらの津波に関する科学知に不確定性が存在した（即ち不確実性リスクであった）ため、東京電力では津波の不確実性リスクに対して、具体的な減災対策が必要であるという危機感が共有されず、対策の実行に至らなかった。その背景には津波対策の高度化には、法令による明確な要求等、対策の必要性を示す明確な根拠が必要であるとする認識が、経営層に共有されていた点が示唆される。対策の実行に至らなかった結果として、福島第一原子力発電所はこれらの津波が襲来した場合（それが、暫定的に導出された最小規模であっても）、高い可能性で炉心損傷事故に至る状況のまま震災を迎えた。

また、震災以前に津波の専門家や保安院の一部は津波の不確実性リスクに対する早急な減災対策の実行が重要であるとの認識を得ていたが、保安院はこの様な津波の不確実性リスクに対する対策方針を企業に示すには至らず、津波の専門家も津波の不確実性リスクの取り扱いについて、独自の指針を示す等の踏み込んだ提案には至らなかった。したがって、規制庁や津波の専門家のこうした認識は、津波の不確実性リスクには投資しないとする同社の意思決定を変えるには至らなかった点も明らかになった。

第一部研究では、最後に第一部研究における発見事項を基に東京電力の津波に対するリスクマネジメントが①リスクの大きさ（被害規模×発生頻度）に対して適切であるか、そして②科学知の不確定性（知識状況）に対して適切であるかを考察した。①に関しては、震災以前の科学知を基に、津波による福島第一原子力発電の炉心損傷事故確率が国際的基準及び我が国の性能目標が求める範囲に存在していたかを基準に考察した。具体的には、福島第一原子力発電所が「津波によって炉心損上事故に至る確率 P(tc)」を「津波の生起確率 P(t)」と「津波に伴う浸水によって炉心損傷事故が発生する確率 P(fc)」の積とし（終-1）

（終-1　本研究における「津波によって炉心損上事故に至る確率 P(tc)」の算出法）



そして、「津波によって炉心損上事故に至る確率 P(tc)」が、我が国の性能目標や IAEA の基準である 1×10^{-4} を下回っている場合に、同社の津波に対するマネジメントが社会的に合意されたリスク基準を満たしていたものとし、逆に、1×10^{-4} を上回っている場合には、社会的に合意されたリスク基準を満たしていなかったとしてその妥当性の低さを指摘する判断基準を設けた（終-2）。

（終-2　本研究における妥当性判断のフレームワーク）

$P(tc)<1\times10^{-4}$…日本の性能目標並びに国際的なリスク基準を満たしている

$P(tc)\geqq1\times10^{-4}$…日本の性能目標並びに国際的なリスク基準を満たしていない

ただし、「津波に伴う浸水によって炉心損傷事故が発生する確率 P(fc)」は、厳密なストレステストを経て検証されるものであり、本研究ではその正確な数値の算出が困難であるため、本研究では「津波によって炉心損上事故に至る確率 P(tc)」が社会的基準を満たすためには、導出された「津波の生起確率 P(t)」に対して「津波に伴う浸水によって炉心損傷事故が発生する確率 P(fc)」がどの程度の確率でなければならないかという点から、同社のリスクマネジメントの妥当性を総合的に判断した。結果、敷地浸水をもたらすと予見される貞観津波と同型の津波、および地震長期評価（地震調査委員会,2002,2009）が示した津波の生起確率は、福島第一原子力発電所が運転許認可を受けた 10 年の間におおよそ 3%から 1%の値であり、福島第一原子力発電所の炉心損傷頻度（CDF）が国内外のリスク基準を満たすためには、主用建屋の存在する敷地浸水が発生しても 99%事故に至らない堅牢な溢水対策が不可欠な点が明らかになった。しかし、福島第一原子力発電所は敷地浸水に対する脆弱性を改善しておらず、敷地浸水が発生しても 99%事故に至らない状況ではなかった。これらを考慮した場合、東京電力のリスクマネジメントは国際的なリスク基準を満たしていないものであったとことが示唆された。

②に関しては、既存研究において不確実性リスクに対しては、知識状況の変化に柔軟であること、及び不可逆な被害防止する投資が為されることが求められているため、これらの要求される行為が東京電力のリスクマネジメントにおいて実践されていたかを中心に考察した。東京電力の津波リスクのマネジメントを観察した場合、同社は急速に進展する科学知の変化を察知できる良い情報経路を有していたことが確認された。しかし、知識状況の変化を察知しながらも、それが企業内の津波に対する危機感の共有には繋がらず、具体的な津波対策の高度化に至らず、結果的として高いリスクが放置された。故に、同社のリスクマネジメントは知識状況の変化に対する柔軟なマネジメンとしては不十分である事が指摘された。また、少なくとも 2008 年の時点では、リスク評価の不確定性を考慮しても貞観地震・津波の研究成果は、同時多発的な炉心損傷事故の発生という不可逆的な被害が、

我が国及び国際的な安全基準が求める以上の頻度で発生する可能性を示唆していた。それにもかかわらず、これを看過し津波対策の高度化に投資を行わなかった。故に、同社のリスクマネジメントは不可逆な被害防止する投資の実践という面でも不十分であることが指摘された。総じて言えば、東京電力の津波に対するリスクマネジメントの妥当性は低いとの判断が第一部研究の結論として導かれた。そして、2008 年以降点の貞観地震・津波の研究成果から導出される津波のリスク評価の危険性を看過し、不確定性の完全な解消が為されていないことを事由に具体的な津波対策に着手しなかった（即ち、不確実性リスクの実質的な放置）が、同社の津波へのリスクマネジメントにおける最大の課題であることが示された。ただし、東京電力がこの様なマネジメントの失敗に陥った背景には、先述したとおり保安院が明確な指針を打ち出せなかった点や、津波の専門家もリスクの取り扱いについて踏み込んで提案できなかった（あるいはそもそもそのような立場になかった）点も存在するため、マネジメントの錯誤の要因を東京電力の企業行為のみに帰着するのは間違えであり、その背景には企業を超えたマクロ的要因、換言すれば産官学による複合的なマネジメントの課題の存在が示唆された。

3. 産学官の複合的なリスクマネジメントにおける課題
～第二部の研究の要約～

第二部の研究では、東京電力による不確実性リスクのマネジメントの失敗をもたらした外的要因を明らかにするために、日本の原子力法制において不確実性リスクがどのような規制対象になっていたか、及び不確実性リスクに対する適切なマネジメントを促進する機能を有するとされる技術者倫理の制度化が、その機能を発揮し得る形態になっていたかを調査した。

第二部の研究では、まず日本の原子力法制が企業による適正な不確実性リスクのマネジメントを促進する構造を有していたかを調査した。リスクと規制の関係を調査した先行研究では、営利組織である企業のリスク対策への最適な投資範囲は、「企業によるリスク対策が必須な事項を定めた法令」と「企業のリスク対策の免責範囲について定めた法令」によって影響を受けることが示されている。よって、第二部の研究では日本の原子力法制において「津波の不確実性リスク」が、(a)対策が法的義務として要請される領域、(b)対策が企業裁量に委ねられる領域、(c)対策が企業裁量であり、且つ法令において対策が免責とされる領域）の何れの領域に制度的に位置づけられていたかを調査した。調査は法令の内容分析を通じて行い、「企業によるリスク対策が必須な事項を定めた法令」として、原子力施設の設置及び運転等に関する規制を定めた原子炉等規制法と電気事業法（及びこれらの法令に基づく審査や許可、認可において用いられる指針）を、「企業のリスク対策の免責範囲について定めた法令」として、賠償免責となる自然災害リスクの範囲を示している原子力賠償法をその分析対象とした。

分析の結果、①日本の原子力法制において「不確実性リスク」は、対策の要求範囲とも

免責範囲とも理解できる曖昧な対象として設定されていたこと。②不確実性リスクは、その対策投資を企業に抑制させる要因を多く有しており、企業に適切なリスク対策の投資を促すためには、不確実性リスクへの対策投資を動機づける制度が求められにもかかわらず、日本の原子力法制は、これを動機づける内容にはなっておらず、むしろ不確実性リスクの対策に積極的な投資を行うことが、企業の最も重い費用負担に繋がる可能性を有し、これを抑制する方向に企業を動機づける内容となっていた。という課題が存在することが明らかになった。

続いて、第二部の研究では日本の技術者倫理の制度化が深く質性リスクの適切なマネジメントを促進する構造となり得ていたかを分析した。先行研究では技術者倫理の制度化は企業事故の要因となる企業の機密性による集団思考の罠を抑止する機能を有するとされ、実際の事故再発防止策においてもその効果が期待されている。第二部の研究では、日本の原子力分野における技術者倫理の制度化についてそれが、先行研究において期待されている機能を果たす構造になっていたかを分析した。分析は事例分析を通じて行い、分析対象として東京電力および日本原子力学会による技術者倫理の制度化の取組みを選んだ。これらの組織の取組みを分析対象とした事由は、第一に日本原子力学会が我が国の原子力技術分野における最大規模の学会であり、且つ産官学の多くの技術者・研究者が所属しており、同技術分野における技術者への影響力が最も大きいと考えられること。第二に、東京電力は今回の事故における当事者であり、同社による技術者倫理の制度化は福島第一原子力発電所事故に至るプロセスに最も影響を及ぼしたと考えられ、当該事故の外的要因として技術者倫理の制度化を分析するにあたって最も適当であると考えられるからである。分析は、2 次資料（公的な公開資料、例えばプレスリリース、論文、議事録等）の内容分析を行い、2 次資料の分析において不明な部分については、制度化主体となっている組織の関係者にインタビューを行うことによってこれを補完した。

分析の結果、日本では 1990 年代の中頃まで技術者倫理の制度化が殆ど取り組まれておらず、制度化が果たす社会的な機能や、技術者倫理それ自体の定義が非常に曖昧なまま、制度化主体の目的に合わせた取組みが展開した事が明らかになった。そして、東京電力や日本原子力学会の制度化の目的は、欧米の専門職倫理の視点に基づいた技術者倫理の制度化と相違する点も示された。欧米において技術者倫理の制度化は、技術者が専門職としての「自律性」や「特権」を保持する合理性を社会に認めてもらうことを目的として行われてきた。そこでは、「自律性」や「特権」を保持と引き換えに、高度な倫理規範の制定と遵守を担保する仕組みの構築が制度化の要件とされている。しかし、東京電力の制度化では、技術者が専門職としての「自律性」や「特権」は、制度化によってむしろ制限される構造となっていた。日本原子力学会の制度化では、専門職としての「自律性」や「特権」の保持よりも、倫理的な視点の啓発による原子力技術の社会受容性の拡大に主眼が置かれた。故に、「自律性」や「特権」の保持を求める欧米の学協会における制度化とは異なり、規程の遵守に関しては学会員に対して高度なレベルを求めておらず、これを担保する仕組みの

構築が為されていなかった。

また、我が国特有の技術者倫理の定義や目的をもとに行われた制度化は、そもそも企業の機密性を解消するには脆弱な構造であった点も示唆された。東京電力による制度化では、倫理的な問題報告は、常に企業内部で処理・解決する形態となっており、倫理的問題を超企業的な問題へと昇華する仕組みとはなっていなかった。したがって、技術者から報告された問題を超企業的な検討課題とし経営者の意思決定の修正を促すという点において東京電力の制度化は企業の機密性に伴う隠ぺい体質の改善をする仕組みとしては不十分であった。日本原子力学会における制度化では、倫理的な問題に対する組織的な対応は存在するものの、その内容は報告された問題に関して委員会で審議を行い「委員長が問題事例の提起者個人のプライバシーに配慮した上で、問題事例が発生している組織へ提起された問題内容を連絡する。」というものに限定されており、企業や経営者に対する影響力としては弱いものとなっていた。更に、倫理的行為を行った技術者の保護・支援については具体的な取組は存在しなかった。したがって、経営者の意思決定の補正を促すという点、そして倫理的行為を行った技術者の保護・支援という点が脆弱であり、同学会の制度化は企業の機密性を解消する仕組みとしては不十分であった。

総じて言えば、日本の原子力法制も技術者倫理の制度化の様相も、企業に適切な不確実性リスクのマネジメントを促進させる構造を有しておらず、これが福島第一原子力発電所事故の遠因となったことが示唆されると共に、事故の再発防止においては原子力法制や技術者倫理の制度化を含めた改善が必要な点が示唆された。

4. 福島第一原子力発電所事故から導出されるリスク学への含意 ～第三部の研究の要約～

第三部の研究では、東京電力と東北電力の津波の不確実性リスクに対するリスクマネジメント戦略の比較検証を基に「不確実性リスク」に対するリスクマネジメント戦略に関して仮説構築を試みた。本章では、不確実性リスクのマネジメントの失敗事例として福島第一原子力発電所事故を、成功事例として女川原子力発電所の安全な冷温停止を捉え、本研究の発見事項、並びに 2 社のリスクマネジメント戦略の比較分析から、不確実性リスクのマネジメント戦略に関する議論への含蓄の導出を試みた。分析の結果、①「不確実性リスク」に対しては暫定的な知識からマネジメントが可能であり、暫定手的な知識を基にしたリスク対策の実施が重要である事が示唆された。また、②未然防止原則に基づくリスクマネジメント戦略は大きなリスクほどリスク低減活動が遅延してしまうという逆機能を有している事を示唆した。そして、③今回の事例では、伝承や遺跡の研究等の理学や工学を基盤としない学問分野の知見が震災以前に最も東北太平洋沖地震・津波の危害規模に近接する地震・津波モデルを早期に提示できていたことが確認され、このような理学や工学を基盤としない学問分野の知見を不確実性リスクのマネジメントに反映できる可能性が示唆された。そして③マネジメントの成功事例である東北電力においては不確実性リスクのマネ

ジメントにおいて価値多様性の有る意思決定プロセスが構築され、対照的に失敗事例である東京電力においてはそのようなシステムが存在しなかったことが明らかにされた。価値多様性を有する意思決定のプロセスの存在・非存在がマネジメントの成否を分けた要因として存在することが示唆された。

4. 本研究のまとめと安全性向上への提言
～終章の要約～

終章では、本研究の貢献と課題を示し、本研究の発見事項から導出される商用原子力発電の安全性向上への提言を行った。

本研究の貢献をまとめれば、①先行研究において看過されていた「リスクの根拠となる科学知の不確定性」を取り入れて福島第一原子力発電所事故の背景にあるリスクマネジメント上の課題を分析し、結果として「不確実性リスクの放置」が今回の事故の背景に存在するリスクマネジメント上の本質的な課題である事を示した点、②不確実性リスクに対する東京電力と東北電力のリスクマネジメント戦略の比較から、未然防止原則に基づくリスクマネジメント戦略は、危険性が高いリスクほどその具体的な減災対策が遅れてしまうという逆機能が存在することや、価値多様性の有る意思決定プロセスの構築が適切な不確実性リスクのマネジメントに重要であることを示唆した点、③今回の事故が科学知の蓄積不足や、知識共有の基盤の不在が原因ではなく、蓄積・共有されたリスク情報を基に、不確実性リスクへの対応指針を設計するシステムの非存在（あるいは機能不全）にあり、日本の原子力法制のみならず、専門家集団の社会的機能の含めた改善が必要なことを示唆した点となる。

ただし、リスク学の先行研究は、リスク情報となる知識の生産から、社会におけるリスク問題の設定、更にはリスク評価・査定、そしてリスクマネジメントの実践へと至る一連のプロセス（これをリスクガバナンスという）は、社会において独立した現象として発生しないとし、特定のリスクに対するリスクガバナンスの行為は、階層化された様々な要因（例えば、リスクガバナンスの実践に関わった行為者の能力や、アクターネットワーク、社会的状況、社会の文化や価値観）が影響した結果として発生する行為であると位置づける。故に、特定のリスクガバナンス（及び、そのプロセスの一部であるリスクマネジメント）を適切に観察し、その課題を検討するにあたってはこれら諸要素の全てを、包括的に観察・分析する必要性が示されている。本研究では、リスクガバナンスをもたらしたアクターネットワークの様相や津波リスクに対する社会的認知の様相、更には日本の商用原子力発電所のリスクマネジメントに影響を及ぼしたと推察される文化や価値観についての分析は、本研究において分析の対象外となっており、これらの点の更なる調査・分析が本研究の課題として指摘された。

本研究では最後に、研究における発見事実を踏まえて今回の事例から示唆される、事故再発防止のための改善点について考察した。結論として本研究は、産官学による不確実を

含むリスク情報に基づく意思決定に向けた枠組みの早急な整備を提案した。そしてその具体的な内容として、①津波等の自然災害の不確実性リスクに対する企業の対応責務の明確化し、企業にその対策投資を動機づけるような制度の構築、②企業の不確実性リスクへの対策投資が過重あるいは過少にならないように、その適正性を企業外部の独立した専門家により、短期の周期で且つ継続的に監査する仕組みの構築、③技術者や科学者の政策や企業の意思決定の修正機能の強化に伴った技術者倫理の制度化の見直しを提案した。