

科学技術の巨大化・総合化・複雑化，および不確実性下
の工学教育と技術者制度のあり方について

田岡 直規

目 次

1. はじめに	1
2. 本稿の構成	5
第一部 巨大化・総合化・複雑化および不確実性下の科学技術の事例分析	6
第Ⅰ章 福島第一原子力発電所事故の事例分析	6
Ⅰ-1. 事故の概要	6
Ⅰ-2. 福島原発事故その後	9
Ⅰ-3. 福島原子力発電所事故調査委員会	13
Ⅰ-3-1. 国会：東京電力福島原子力発電所事故調査委員会	13
Ⅰ-3-2. 政府：東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会	14
Ⅰ-3-3. 民間：福島原発事故独立検証委員会	15
Ⅰ-3-4. 東電：福島原子力事故調査委員会	16
Ⅰ-4. 原子力発電に関するステークホルダー	17
Ⅰ-5. 事例分析：事故原因と対策	19
Ⅰ-5-1. リスクの認識	19
Ⅰ-5-2. 技術思想の伝承	26
Ⅰ-5-3. 法律・技術基準・安全基準	27
Ⅰ-5-4. 非常用装置の使用	28
Ⅰ-5-5. 公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシー	29
第Ⅱ章 巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術思想伝承の事例分析	32
Ⅱ-1. 技術思想とは	32
Ⅱ-2. 技術思想の伝承の失敗事例	35
Ⅱ-2-1. 六本木ヒルズ自動回転ドア事故	35
Ⅱ-2-2. 福島第一原子力発電所事故	38
Ⅱ-3. 技術思想の伝承の成功事例	41
Ⅱ-3-1. 女川原子力発電所建設工事	42
Ⅱ-3-2. 福島原子力発電所アクシデントマネジメント	43
Ⅱ-4. 技術思想を正しく伝承するために	46

第Ⅲ章 不確実性下の科学技術の事例分析	48
Ⅲ-1. 科学技術の不確実性とは	48
Ⅲ-2. 水俣病対策	48
Ⅲ-2-1. 水俣病の概要	48
Ⅲ-2-2. 水俣病の被害拡大防止と早期解決できなかった原因	50
Ⅲ-3. イタイイタイ病の原因解明と対策	55
Ⅲ-3-1. イタイイタイ病の概要	55
Ⅲ-3-2. イタイイタイ病の被害拡大防止と早期解決が可能となった理由	55
Ⅲ-4. 不確実性下の科学技術において被害拡大を防止し早期解決をもたらすために	59
第Ⅳ章. 事例分析から導かれる技術者に求められる能力	61
Ⅳ-1. 事例分析に基づいた事故原因と対策	61
Ⅳ-2. リスク評価	62
Ⅳ-3. 技術思想の伝承	68
Ⅳ-4. 基準遵守から予見的・予防的対応へ	69
Ⅳ-5. 非常用装置及び非常時対応手順	70
Ⅳ-6 公衆の科学技術リテラシー向上	71
第二部 日本の工学教育と技術者制度の現状と改善策	75
第Ⅴ章 工学教育の現状と改善策	77
V-1. JABEE 設立の経緯	77
V-2. JABEE の組織と活動内容	78
V-3. JABEE 認定制度	79
V-4. JABEE が定める学習・教育到達目標	80
V-5. JABEE の認定基準に不足している技術者の能力	85
V-6. 新たな工学教育, 新規科目の提案	89
第Ⅵ章 技術者制度改善案の提案	98
Ⅵ-1. 日本の技術者制度について	99
Ⅵ-2. 「技術士に求められる資質・能力」の現状	101
Ⅵ-3. 海外の技術者制度について	104
Ⅵ-3-1. 米国 PE 制度と NSPE について	104
Ⅵ-3-2. 英国 CEng 制度について	109

VI-4. 日本の技術士制度と，米国 PE 制度，英国 CEng 制度との比較・・・	113
VI-5. 技術者制度改善案の提案・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	134
第VII章 結論	143
参考文献	145
謝辞	151

序章

1. はじめに

本研究が対象とするのは、科学技術の巨大化・総合化・複雑化、および不確実性下の工学教育と技術者制度である。

現代では、原子力発電所に代表されるように、産業革命時の代表的な科学技術である蒸気機関などと比較をしてみると、科学技術の規模としては「巨大化」している。また、要素技術として、格納容器、発電設備、電子・通信設備、非常用電源装置等に代表されるように、原子力工学、電気工学、機械工学、材料工学、土木工学、情報工学、通信工学等の複数の分野の工学を結び付けることによって「統合化」している。さらに、莫大な数の要素技術と制御システムを相互に有機的に結びつけることによって「複雑化」している。このように、科学技術の巨大化・総合化・複雑化が進展している。

従って、札野順も述べているように、個々の専門技術者にとって、自己の専門分野の技術的リスクを認識していたとしても、科学技術全体がもつ技術的リスクについては、包括的に正確に捉え、識別することは困難である¹。

また、藤垣裕子が述べているように、科学技術には、常に「未知」の部分が存在し「現在進行形」で解明が進められる²。

すなわち、科学者、技術者は、多くの場合「科学技術の不確実性下」で、意思決定を迫られている。また、科学技術の巨大化・総合化・複雑化に伴い、科学技術のリスク、事故・不祥事の影響も巨大化、複雑化している。例えば、科学技術に関する代表的な事故、不祥事については、国内において1950年代に発生した水俣病、イタイイタイ病をはじめとした四大公害病、さらに、1986年スペースシャトルチャレンジャー号事故、世界三大原子力発電所事故とされる、1979年スリーマイル島原発事故、1986年チェルノブイリ原発事故、2012年福島第一原発事故等が発生している。これらはいずれも巨大化・総合化・複雑化した科学技術の事故・不祥事である。

また、近年になっても、1999年JCO臨界事故、2004年三菱自動車欠陥隠し、2005年JR福知山線脱線事故、その後も、原子力トラブル、鉄道事故、自動車リ

¹ 札野順「技術者倫理」、放送大学教育振興会、pp.35-36、2004

² 藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会、pp.225、2005

コール問題，食品安全問題，データ改ざん・偽造等の各種不正，品質偽装等の，技術者が関与する類似の人為的な事故・不祥事が頻発し，後を絶たないのが現状である。

これらの問題を解決するためには，まず大学における工学教育や技術者制度についてもその妥当性の検証をすることが必要である。

日本の大学における工学教育については，我が国では 1999 年に日本技術者教育認定機構（JABEE：Japan Accreditation Board for Engineering Education（以下 JABEE という）が，高等教育機関における学士および修士レベルの技術者教育プログラムの質が保証されているかどうかを認定することによって，教育の改善を推進するとともに，教育プログラムの国際的な通用性を担保することを意図し設立され，2001 年度から認定を開始した。

また，JABEE は 2005 年 6 月に，日本を代表する技術者教育認定団体としてワシントン協定（Washington Accord）に加盟した。

JABEE の認定基準では，技術者に必須の知識・能力，すなわち「技術者に求められる能力」として，国際的に認められた 9 項目を設定しており，学習・教育到達目標にこの 9 項目を身に付けるための目標を含めることを求めている。

2020 年度までの認定プログラムの累計は 513 プログラムで，認定プログラム修了生数の累計は約 33 万人に及んでいる。

しかし，JABEE 制度については，旧帝国大学に代表される伝統のある国立大学ではその認定の申請も少なく，認定数の伸び悩みと同時に，昨今では認定からの離脱する大学も散見されるのが現状である。

さらに JABEE における「技術者に求められる能力」や現行の大学における工学教育等の妥当性については十分に確認，検証されていないのが現状である。

「日本技術士会創立 50 周年記念誌」³によれば，第二次世界大戦後，吉田茂首相が荒廃した日本の復興や再建に技術者の奮起や協力を強く要望したとされている。その結果，国の復興に尽力し，世界平和の繁栄に貢献するために活動できる権威ある技術者が必要になり，米国の PE 制度を参考に日本における代表的な専門技術者制度である技術士制度が，創設されたとされている。

1957 年に技術士法が制定され，「技術士」は，「国によって科学技術に関する高度な知識と応用能力が認められた技術者」として，技術者にとって最も権威のある国家資格である。各種の産業分野や社会生活の科学技術に関するほぼ全ての分野である 21 の技術部門をカバーし，科学技術の応用業務に日夜携わっている。

³ 日本技術士会，「日本技術士会創立 50 周年記念誌」，2001

しかし、日本の技術者は、所属する組織の方針、施策、文化に大きく影響されると同時に、必ずしも自立したプロフェッショナルとして認められていない。

このように、わが国における技術士制度は、産官からの強い要請のもとに制定されたにもかかわらず公共事業等の一部の分野を除いて産業界、特に企業組織内で十分な評価が得られていない。

技術士資格保有者は、毎年約 3,000 人増加し、2021 年度末現在で技術士登録者実数は 97,251 人である。一部の部門を除きその資格の認知度は低く、国内における技術者総数が約 250 万人を考慮すると、技術士が社会に普及し、十分に活用される状況とは言えない。

このような状況下において、

- ①「科学技術の巨大化・総合化・複雑化、および不確実性下の工学教育」はどうあるべきか？
- ②「科学技術の巨大化・総合化・複雑化、および不確実性下の技術者制度」はどうあるべきか？

本論文では、以上 2 つの課題に対する解決策を提案している。

なお、本博士論文は、以下の既発表論文の内容を基本として、追記・修正を行ったものである。すなわち

第 I 章は、論文 1 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

論文 6, 論文 7 の内容も一部取り入れた。

第 II 章は、論文 3 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

第 III 章は、論文 4 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

論文 5 の内容も一部取り入れた。

第 IV 章は、論文 1 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

第 V 章は、論文 1 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

第 VI 章は、論文 2 の内容を基に、追記・修正を行ったものである。

第 VII 章は、以上に基づく結論である。

(論文 1) 田岡直規「福島原子力発電所事故の原因分析に基づく工学教育改善策の提案」, 工学教育 66-4, pp. 13-20, 2018

(論文 2) 田岡直規「福島原子力発電所事故の原因分析に基づく技術者教育と技術者制度改善策の提案」, 工学教育 67-3, pp. 45-51, 2019

(論文 3) 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術思想伝承の成功例と失敗例」, 技術倫理研究第 16 号名古屋工業大学 技術倫理研究会

編, pp. 1-16, 2019

(論文 4) 田岡直規「これからの技術者に求められる能力～不確実性下の科学技術事例を教訓として」, 工学教育 69-5, pp. 60-66, 2020

(論文 5) 田岡直規「現代の科学技術における技術者倫理」, 技術士 2011. 3, pp. 4-7

(論文 6) 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」, 技術倫理研究第 8 号名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp. 17-32, 2011

(論文 7) 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」, 技術倫理研究第 12 号, 名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp. 41-58, 2015

2. 本稿の構成

第一部では、第1の課題について、まず科学技術の事例分析を行う。

事例分析では、第I章で巨大化・総合化・複雑化および不確実性下の科学技術の事例分析として、「福島第一原子力発電所事故」を取り上げ、国会、政府、民間、東京電力という4つの「福島原子力発電所事故調査委員会」の調査結果を分析し、その事故原因の分析と対策を「事故原因と対策」としてまとめる。

次に、技術者がどのような能力を備えていれば、この福島第一原子力発電所事故の発生、拡大を防止することができたかについて、「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」として整理、分析する。

さらに、第II章と第III章では、福島第一原子力発電所以外の事例として、2004年「六本木ヒルズ回転ドア事故」を、1956年「水俣病」を取り上げ、事故原因について分析を行い、前述の「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」の妥当性の検証を行う。

また、成功事例として、1990年「女川原子力発電所建設工事」と2012年「福島原子力発電所アクシデントマネジメント」、1968年「イタイイタイ病対策」を取り上げ、事故原因について分析を行い、第IV章で前述の「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」の妥当性の検証を行う。

第二部では、まず第V章で日本の工学教育の現状の分析を行う。そして、第I章から第IV章で分析した、「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」を整理し、現状の工学教育としての「JABEEで求められる」能力と比較し、追加すべき能力をJABEEの認定基準に不足し追加すべき技術者の能力として提案する。

さらにその能力をより積極的に自発的に身につけるため新たな工学教育、新規科目の提案を行う。

さらに第VI章では、日本の技術者制度について代表的な専門技術者制度である「技術士制度」を取り上げ、その現状と技術士に求められる資質・能力の現状について、分析、整理を行う。さらに海外の技術者制度として、代表的な米国 Professional Engineer (PE) 制度と全米 PE 協会 (NSPE : National Society of Professional Engineer), 及び英国 Chartered Engineer (CEng) 制度を取り上げ比較分析を行う。

以上に基づき、技術者制度改善案の提案を行う。

第一部 巨大化・総合化・複雑化および不確実性下の科学技術の事例分析

第1章 福島第一原子力発電所事故の事例分析

I-1. 事故の概要

第1の課題に対しては、巨大化・総合化・複雑化および不確実性下の科学技術の代表事例として、まず福島第一原子力発電所を取り上げ、国会⁴、政府⁵、民間⁶、東京電力⁷という4つの事故調査委員会資料の調査結果を分析し、事故原因として何が指摘されているかをまとめる。

全交流電源と直流電源を喪失し原子炉を安定的に冷却する機能が失われたことが、大事故（炉心溶融、水素爆発、放射性物質の大量拡散）の直接的原因であるが、それ以外の要因も指摘されている。本論文では、それらの資料を基に、事故前の、1. リスク認識、2. 技術思想の伝承、3. 法律、技術基準、安全基準、という観点から、また事故時、事故後の、4. 安全管理、5. リテラシー、の観点から、事故の遠因と背景（「事故原因」と総称する）の分析を行う。

そして、技術者がどのような能力を備えていれば、事故の発生、拡大を防止することができたか、「事例分析に基づいた技術者に求められる能力」を整理、分析する。

そして、福島第一原子力発電所以外の事例として、2004年六本木ヒルズ回転ドア事故を、1956年水俣病を取り上げ、事故原因について分析を行い、前述の「事例分析に基づいた技術者に求められる能力」の妥当性の検証を行う。

また、成功事例として1990年女川原子力発電所建設工事と2012年福島原子力発電所アクシデントマネジメント（特に、消火ポンプから原子炉への代替注水手段）、1968年イタイイタイ病対策を取り上げ、成功原因について分析を行い、前述の「事例分析に基づいた技術者に求められる能力」の妥当性の検証を行う。

さらに「これからの技術者に求められる能力」について分析・検証を行う。以上より、「これからの技術者に求められている能力」を整理し、①知識、②態度、③スキル、に分類化し横断的な能力として、複数の能力にまとめる。

⁴ 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会（国会事故調）「報告書」2012.7.5

⁵ 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（政府事故調）「最終報告」2012.7.23

⁶ 福島原発事故独立検証委員会（民間事故調）「調査・検証報告書」2012.3.11

⁷ 東京電力（東電事故調）「福島原子力事故調査報告書」2012.6.20

以上よりその能力を身につけるための具体的な工学教育カリキュラム（講義・演習・事例研究・グループプロジェクト等の内容，手法等）の提案を行う。

福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」）は，福島県双葉郡大熊町と双葉郡双葉町に位置しており，東は太平洋に面している．敷地面積約 350 万 m^2 に 1 号機から 6 号機までの 6 基の沸騰水型軽水炉が設置されており，1 号機から 4 号機までは福島県双葉郡大熊町に，5 号機と 6 号機は同郡双葉町に設置されている【東 p. 1】.⁸

2011 年 3 月 11 日は，福島第一原発においては，1 号機から 3 号機が運転中で，4 号機から 6 号機までは定期検査中であった．同日 14 時 46 分に，岩手県沖から茨城県沖にわたる広範囲な地域を震源地とする東北地方太平洋沖地震の影響で，運転中の 1 号機から 3 号機は自動停止した．同時に福島第一原発では，この地震により，全ての外部電源（送電線等からの電力供給）が失われたが，非常用ディーゼル発電機が起動し，原子炉の安全維持のための電源が確保された【東 p. 2】.

その後襲来した大津波により，福島第一原発では，5～6 号機より敷地レベルが低く浸水深さが深い所に設置されている 1～4 号機の非常用ディーゼル発電機の電源盤が被水，浸水した．運転中の非常用ディーゼル発電機が停止し，外部電源及び非常用ディーゼル発電機の全交流電源も喪失し，交流電源を用いる全ての冷却機能が失われた．なお，原子力発電所の電源系統は，外部電源と所内交流電源としての非常用ディーゼル発電機（以上は交流電源）と直流電源より構成されている．さらに，冷却用海水ポンプも冠水してしまい，原子炉内部の残留熱（崩壊熱）を海水へ逃がす機能である徐熱機能も喪失した．また，1 号機から 3 号機においては，直流電源喪失のため，交流電源を用いない炉心冷却機能も順次停止した【東 p. 2】.

その結果，1 号機から 3 号機では，一定時間それぞれの原子炉圧力容器へ注水できない状態が継続した．そのため，各号機の燃料が水に覆われず露出し，燃料

⁸ なお，文中で以下 4 つの事故報告書からの参照については，以下の通り表記することとした．

東京電力福島原子力発電所事故調査委員会（国会事故調）「報告書」2012．【国 p. 頁数】

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（政府事故調）「最終報告」2012：【政 p. 頁数】

福島原発事故独立検証委員会（民間事故調）「調査・検証報告書」2012：【民 p. 頁数】

東京電力（東電事故調）「福島原子力事故調査報告書」2012：【東 p. 頁数】

棒の被覆管が損傷し、燃料棒内にある放射性物質が原子炉圧力容器内に放出され、燃料棒の被覆管（ジルコニウム）と水蒸気が化学反応を起こし大量の水素が発生する事態に陥った【東 p. 2】。

放射性物質や水素が、原子炉圧力容器から格納容器内へ放出されたため、格納容器の内圧が上昇した。このような中、3月12日早朝には、菅直人首相がヘリコプターにて、現地視察を行った。その際、班目春樹原子力安全委員会委員長は、原子炉格納容器の圧力を下げるため、外界に直接排気するベントを進言した。菅首相は、武藤栄東京電力副社長と吉田昌郎福島第一原発所長に、ベントを行うよう要請し、海江田万里経済産業大臣による原子炉等規制法に基づくベント命令が電力会社にだされた。福島第一原発所長によるベント指示により、作業員が原子炉格納容器ベント弁の手动開、そして中央制御室からの開操作によりベントが行われた【民 p. 74-80】。

その後、1号機と3号機においては、原子炉格納容器から漏洩した水素が原因と考えられる爆発が発生し、原子炉建屋上部が破壊され、大量の放射性物質が放出された。また、4号機では燃料の全てが使用済燃料プールへ取り出されており、燃料の冠水が保持されていたが、3号機ベントにより流入したと考えられる水素により、原子炉建屋上部で爆発が発生した。さらに、4号機の燃料プールの周辺部も破損した【東 p. 8】。

福島第一原発1号機で水素爆発が発生したため、海江田経済産業大臣より電力会社に対して、原子炉等規制法に基づき1号機の原子炉内を海水で満たすよう措置命令を発し、海水注入が行われた【民 p. 80-83】。

マルチダウン後、消防ポンプによって海水注入が可能になり、炉心の冷却が行われ、最悪の危機は回避された。続いて、大量に発生する放射能汚染水の貯蔵場所が問題になったが、緊急に導入された装置を使って汚染水を循環し、セシウム等を除去する体勢が整えられた。それらの結果、2011年12月になって、ようやく冷温停止状態に達したと宣言された⁹。

⁹ 日本経済新聞：Web ページ，

https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK16023_W1A211C1000000/

参照日：2020-2-20

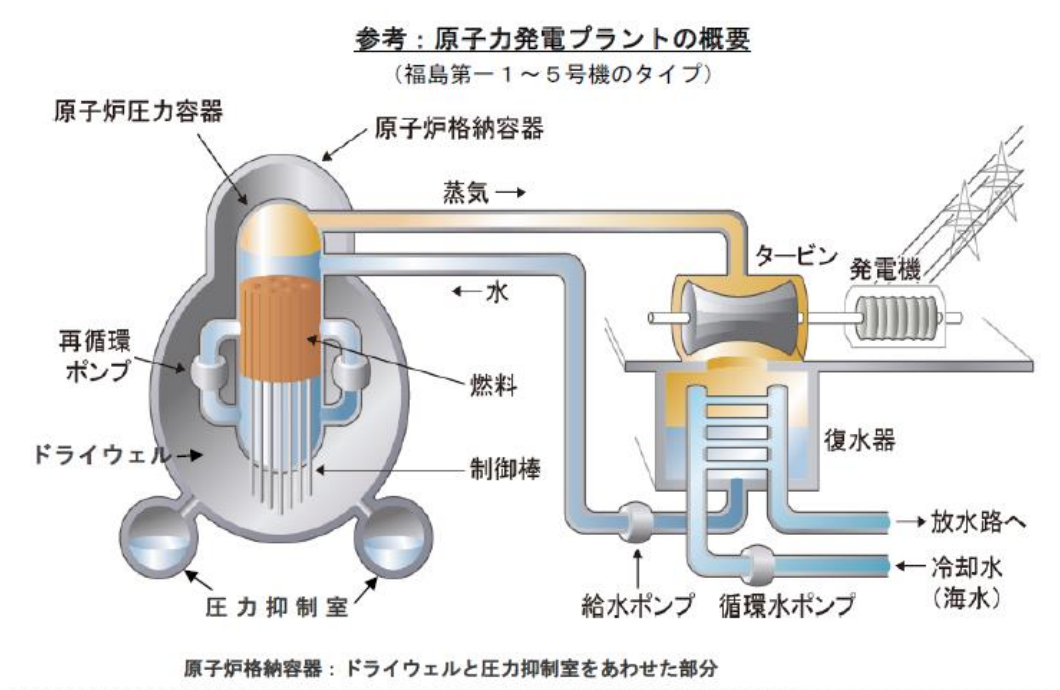


図 1-1. 原子炉格納容器 (出典：【東 p. 3】)

経済産業省原子力安全・保安院は、3月18日にその時点で得られている情報で、国際原子力事故評価尺度 (INES) の暫定値 (レベル5) に当たると発表した。その後、同年4月12日、経済産業省原子力安全・保安院は国際評価尺度 (INES) の暫定評価を「レベル7」に引き上げると発表した¹⁰。

I-2. 福島原発事故その後

政府と東京電力は、福島第一原発の廃炉に関して、2011年12月に「東京電力ホールディングス (株) 福島第一原子力発電所 1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(中長期ロードマップ) を策定した¹¹。政府が発表した事故処理工程表によると、2年以内に1～4号機の貯蔵プールにある燃料棒の、10年

¹⁰ 経済産業省：Web ページ，

<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001eap9-att/2r9852000001eax7.pdf>

，参照日：2022-5-29

¹¹ 経済産業省資源エネルギー庁：Web ページ，

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/fukushima/roadmap.html>

，参照日：2022-5-29

以内に1～3号機の溶融した燃料の取り出し作業に着手し、30～40年後に廃炉作業を完了することになっている。

本事故により、放射性物質については、ヨウ素換算値でチェルノブイリ原子力発電所事故での放出量の約6分の1に相当する900PBq（ペタベクレル）が放出された。これにより、福島県内の約1800km²もの土地に年間5mSv以上の空間線量を発する可能性のある地域になった【国 p. 329】。

経済産業省資源エネルギー庁によれば「2020年3月には、帰還困難区域以外の地域の避難指示が全て解除」¹²「双葉町、大熊町、富岡町の帰還困難区域の一部でも、震災後初めて避難指示が解除」¹⁰され「未だ避難指示が解除されていない区域についても、2022年春以降及び2023年春頃の避難指示解除を目指」¹⁰し、復興を進めている。

また、2012年6月に、新しい原子炉等規制法は、福島原発事故の教訓や国内外からの意見や指摘を踏まえ、主に次のような点が改正された¹³。

- ・ 重大事故（シビアアクシデント）対策やテロ対策を規制の対象とする
- ・ すでに認可済の原子力発電所や核燃料施設などに対しても、最新の規制基準への適合を義務づけるという「バックフィット制度」を導入する
- ・ 運転期間の延長についての認可に関する制度の規定を追加する

¹² 経済産業省資源エネルギー庁：Web ページ、

https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/1_1.pdf、参照日 2022-7-22

¹³ 一般財団法人日本原子力分科財団：Web ページ「新しい規制体制と規制基準」

<https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-04-01.html>、参照日：2022-3-23

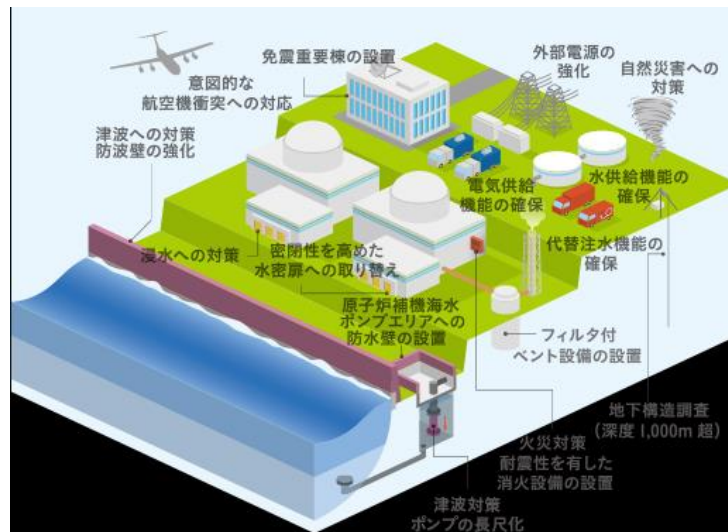


図 1-2 原子力発電所新規制基準（出典：Enelog 特別号 2015 vol.04）

この原子炉等規制法の改正に基づき、原子力規制委員会によって原子力発電所の新たな規制基準が策定され、2013年7月に施行された。

さらに、原子力発電所以外の核燃料施設などについても新たな規制基準¹⁴が策定され、2013年12月に施行された。

また、原子力規制委員会が原子力施設の設置や運転等の可否を判断するため、従来の安全基準を強化して新たな規制基準¹¹が施行された。

【原子力発電所の新規制基準の基本的な考え方】

「実用発電用原子炉に係わる新規制基準の考え方について」（原子力規制委員会）によれば、以下の通りである¹¹。

(1) 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数（多層）の対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考えると、ほかの層での対策に期待しない。

(2) 共通の要因によって、安全機能が、一斉に失われることを防止するため、自然現象などに係る想定的大幅な引き上げと、それに対する防護対策を強化
地震や津波の評価を厳格化し、津波浸水対策を導入する。さらに、多様性と独立性を十分に配慮し、火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化する。

(3) 自然現象以外の共通要因によって故障を引き起こす事象への対策を強化
火災防護対策の強化と徹底、施設内の内部溢水対策の導入、停電などの電源を

¹⁴ 原子力規制委員会「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について」、2016.6.2

強化する。

原子力発電所の新規制基準は設計基準の強化と、その設計の想定を超える事象にも対応するシビアアクシデント対策の二本柱で構成されている。

地震や津波への対策が強化されたほか、火山噴火や竜巻などの自然災害、火災など幅広いリスクに備えるため、設計基準が強化された。また、従来電力会社の自主保安として実施していたシビアアクシデント対策が新設され、炉心損傷や格納容器破損の防止、放射性物質の拡散抑制などを踏まえた対策が求められている。

現在、複数の原子力発電所や核燃料施設等の原子力施設等が新規規制基準に係る適合性の審査の申請をしており、原子力規制委員会がその審査をしている。

福島第一原発事故前に 54 基を数えていた日本の原発のうち、すでに 24 基が廃炉となったことになる。廃炉はさらに増え続けていくと予想される。

各原子力発電所等の状況は、以下（図 1-3）のとおりである。

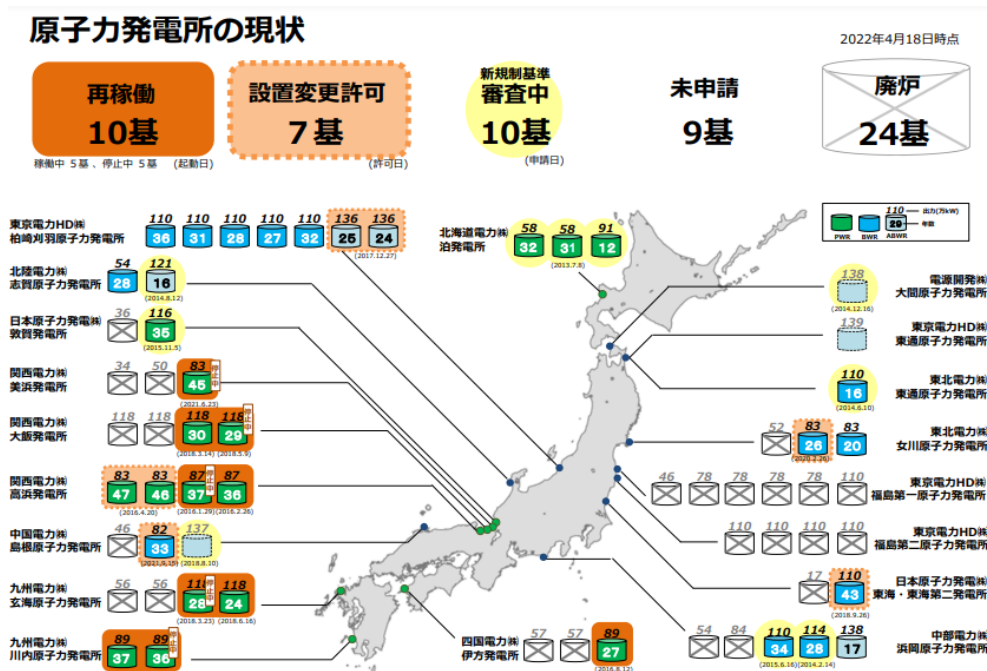


図 1-3 原子力発電所の現状 (2022 年 4 月 18 日現在) ¹⁵

¹⁵ 出展 資源エネルギー庁：Web ページ，
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/，
 参照日：2022-5-29

I-3. 福島原子力発電所事故調査委員会

大事故が発生すると、通常その事故が発生させた事業者や、その規制や監督を担当する政府が、その原因を調査解析し、同種の事故の再発防止対策を検討するために、事故調査委員会を設置する。ここで、事業者と政府は、その事故に関する一次情報を保有すると同時に、当該技術について高い専門性を保持するという観点から、調査をする責務を有している。さらに、その調査結果を報告書として社会に公表することで、事故からの教訓を社会で広く共有し、同種の事故の再発防止を推進することは、社会にとって必要不可欠の仕組みである。

福島第一原発事故は、その事故の影響の巨大さ、複雑さの観点からも、事業者である東京電力、規制や監督を担当する政府、さらには事業者や政府とは独立した、客観的な事故調査分析と再発防止という観点が求められ、国会と民間による事故調査委員会が設置された。

こうして、国会、政府、民間、東京電力という 4 つの事故調査委員会が設置され、それぞれの方針に基づき、事故原因を調査解析し、報告書を作成し公表した。

I-3-1. 国会：東京電力福島原子力発電所事故調査委員会

東京電力福島原子力発電所事故調査委員会（以下「国会事故調」）は、黒川清元日本学術会議会長を委員長として、「事故及び事故による被害の原因、事故対応、原子力政策の調査検証と、それらを踏まえての提言を行う」を調査方針とし、事故が発生させた事業者や規制・監督を担当する政府から独立した調査を国会の下で行い、2012年7月5日に報告書を両院議長に提出した。

委員構成は以下の通りである（肩書きは当時のもの）【国 p. 7, p. 591-592】

- 委員長：黒川 清（東京大学名誉教授，元日本学術会議会長，元内閣特別顧問）
- 委員：石橋 克彦（地震学者，神戸大学名誉教授）
 - 大島 賢三（独立行政法人国際協力機構顧問，元国際連合大使）
 - 城山 比早子（医学博士，元放射線医学総合研究所主任研究官）
 - 櫻井 正史（弁護士，元名古屋高等検察庁検事長，元防衛省防衛監察監）
 - 田中 耕一（化学者，（株）島津製作所フェロー，ノーベル賞受賞）
 - 田中 三彦（科学ジャーナリスト）
 - 野村 修也（中央大学法科大学院教授，弁護士）
 - 蜂須賀 禮子（福島県大熊町商工会会長）

横山 禎徳（社会システム・デザイナー，東京大学エグゼクティブ・
マネジメント・プログラム企画・推進責任者）

参 与：木村 逸郎（京都大学名誉教授，（財）大阪科学技術センター顧問）

児玉 龍彦（東京大学アイソトープ総合センター長）

八田 達夫（大阪大学名誉教授，政策研究大学院大学名誉教授）

国会事故調は，事故の根源的原因として，「規制する立場と規制される立場が逆転関係¹⁶に陥り，原子力安全についての監視・監督機能の崩壊」【国 p. 12】し
が発生していた点をあげ，「今回の事故は「自然災害」ではなくあきらかに「人
災」である」【国 p. 12】と結論づけている．調査結果に基づき国会に対し，7つ
の提言をまとめ，「実現に向けた実施計画を速やかに策定し，進捗状況を国民に
公表することを期待する」【国 p. 12】とされている．

I-3-2. 政府：東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（以下，「政府事故
調」）は，畑村洋太郎東京大学名誉教授を委員長として「事故及び事故による被
害の原因の究明と被害の拡大防止及び同種事故の再発防止等の政策提言を行な
う」ことを調査方針とし，政府に設置されているものの，従来の原子力行政とは
独立した立場で調査・検証を，2011年12月26日に中間報告，2012年7月23日
に最終報告を野田佳彦首相に提出した．

委員構成¹⁷は以下の通りである（肩書きは当時のもの）．

委員長：畑村 洋太郎（東京大学名誉教授，工学院大学教授）

委 員：尾池 和夫（（財）国際高等研究所所長，前京都大学総長）

柿沼 志津子（（独）放射線医学総合研究所放射線防護研究
センターチームリーダー）

高須 幸雄（国際連合事務次長）

高野 利雄（弁護士，元名古屋高等検察庁検事長）

¹⁶ 本来原子力安全規制の対象となるべきであった東電は，市場原理が働かない中，電事連
などを通じて歴代の規制当局に規制の先送りや基準軟化に向け強く圧力をかけた．このよ
うに規制する立場である当局と規制される立場である東京電力が逆転関係が起きていた．

¹⁷ 政府事故調最終報告書「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会名
簿」

田中 康郎(明治大学法科大学院教授,元札幌高等裁判所長官)
林 陽子(弁護士)
古川 道郎(福島県川俣町長)
柳田 邦男(作家,評論家)
吉岡 斉(九州大学副学長)

政府事故調は、「今回の事故は、直接的には地震・津波という自然現象に起因するものであるが、当委員会による調査・検証の結果、今回のように極めて深刻かつ大規模な事故となった背景には、事前の事故防止策・防災対策、事故発生後の発電所における現場対処、発電所外における被害拡大防止策について様々な問題点が複合的に存在したことが明らかになった」【政 p. 361】としている。本調査結果に基づき、7項目の提言を、関係省庁・関係部局に対して、反映・実施・フォローアップを求めている【政 p. 432】。

I-3-3. 民間：福島原発事故独立検証委員会（(一財)日本再建イニシアティブ）

一般財団法人日本再建イニシアティブが設立した福島原発事故独立検証委員会（以下「民間事故調」）は、北澤宏一前科学技術振興機構理事長を委員長として、「真実 (truth), 独立 (independence), 世界 (humanity) をモットーとして、政府と東電の責任を検証する」を調査方針とし、政府からも企業からも独立した市民の立場から、原発事故の原因究明と事故対応の経緯について検証を行い、2012年2月27日に調査・検証報告書を公表した。

委員構成¹⁸は以下の通りである（肩書きは当時のもの）。

委員長：北澤 宏一（東京都市大学学長）
遠藤 哲也（元国際原子力機関理事会議長）
但木 敬一（弁護士，森・濱田松本法律事務所，元検事総長）
野中 郁次郎（一橋大学名誉教授）
藤井 眞理子（東京大学先端科学技術研究センター教授）
山地 憲治（地球環境産業技術研究機構理事・研究所長）

民間事故調は、「この事故が「人災」の性格を色濃く帯びていることを強く示唆しているが、その「人災」は、東京電力が全電源喪失過酷事故に対して備えを組

¹⁸ 福島原発事故独立検証委員会調査・検証報告書 福島原発事故独立検証委員会

織的に怠ってきたことの結果でもあり、「人災」の本質は、過酷事故に対する東京電力の備えにおける組織的怠慢である」【民 p. 383】としている。

I-3-4. 東電：福島原子力事故調査委員会

東京電力は、事故の当事者として、山崎雅男東京電力代表取締役副社長（当時）を委員長として、「事故原因を究明し、原子力発電所の安全性向上に寄与するため、必要な対策を提案する」を調査方針とし、「福島原子力事故調査委員会」（以下、「東電事故調」）および社外有識者で構成する「原子力安全・品質保証会議 事故調査検証委員会」を設置し、2011年12月2日に中間報告書、2012年6月20日に福島原子力事故調査報告書（最終報告書）を公表した。

委員構成は以下の通りである（肩書きは当時のもの）【東 p. iii】。

【福島原子力事故調査委員会】

委員長：山崎 雅男（東京電力(株)代表取締役副社長）

委員：武井 優（東京電力(株)代表取締役副社長）

山口 博（東京電力(株) 常務取締役）

内藤 義博（東京電力(株)常務取締役）

東京電力(株)企画部長

東京電力(株)技術部長

東京電力(株)総務部長

東京電力(株)原子力品質監査部長 計8名

【事故調査検証委員会】

委員長：矢川 元基（東京大学名誉教授）

委員：犬伏 由利子（消費科学連合会副会長）

河野 武司（慶應義塾大学教授）

高倉 吉久（東北放射線科学センター理事）

首藤 伸夫（東北大学名誉教授）

中込 秀樹（弁護士）

向殿 政男（明治大学教授）

東電事故調は、「津波想定については結果的に甘さがあったと言わざるを得ず、津波に対抗する備えが不十分であったことが今回の事故の根本的な原因」【東

p. 325】としている。その上で、東電事故調は、「①重要機器に対する徹底した津波対策、②多重の機器故障や機能喪失に至ることを前提に、炉心損傷を未然に防止する応用性・機動性を高めた柔軟な機能確保、③炉心が損傷した場合に生じる影響を緩和する措置」【東 p. 325－327】を3つの対応方針として示した。

以上4つの事故調査委員会を総称して「事故調」と呼ぶことにする。

I-4. 原子力発電に関するステークホルダー

原子力発電に関しては、原子力発電業界の産・官・学が中心となり、電力会社、原子力プラントメーカー、監督官庁、大学や研究機関とその研究者、政治家、マスコミ・業界紙など多くの組織が関わっている。

官としては、原子力業界の監督官庁としての経済産業省、業界の司令塔的役割で、2委員会を擁する内閣府、旧科学技術庁時代から国の研究開発の中心である文部科学省より構成されている。

内閣府には、政策、予算を掌握する最重要機関である原子力委員会、そして安全・保安院を二重に監視している原子力安全委員会が置かれている。経済産業省には、原子力振興の旗振り役としての資源エネルギー庁、原発の監視人としての、原子力安全・保安院、安全・保安院のサポート役としての原子力安全基盤機構が置かれている。

また、文部科学省には、国内有数の原子力研究機関としての日本原子力研究開発機構が置かれている。なお、この日本原子力研究開発機構は、日本の原子力分野の中核的な研究機関であった日本原子力研究所と高速増殖炉や新型転換炉の開発などを手がける核燃料サイクル開発機構が2005年統合されたものである。

産としては、全国7電力会社の他に民間の業界団体として、民間の自主規制機関としての原子力安全推進協会（JANSI）、日本原子力産業協会（JAIF）、業界団体である電気事業連合会（電事連）、業界研究機関である電力中央研究所等がある。

さらに、電力会社、原子炉製造企業、土木建設企業、プラント工事企業、プラント関係メーカー、素材企業は、表1-1の通りである。

表 1-1 原子力発電に関するステークホルダー一覧¹⁹

ステークホルダー		
国	文部科学省	日本原子力研究開発機構
	内閣府	原子力委員会
		原子力安全委員会
	経済産業省	資源エネルギー庁
		原子力安全・保安院
		原子力安全基盤機構
		総合資源エネルギー調査会
	業界団体	日本原子力産業協会
		原子力安全推進協会
		国際原子力開発
電気事業連合会		
電力中央研究所		
電力会社	電力9社（北海道電力・東北電力・東京電力・中部電力・北陸電力・関西電力・中国電力・四国電力・九州電力）	
原子炉製造企業	東芝、日立製作所、三菱重工業	
原子力施設	日本原燃，原燃輸送	
土木建設企業	大林組、鹿島建設、清水建設、大成建設、竹中工務店、熊谷組、五洋建設、安藤・間、奥村組	
プラント工事企業	東芝プラントシステム、太平電業	
プラント関係メーカー	IHI，東芝エネルギーシステム，富士電機	
ウラン権益企業	海外ウラン資源開発、出光興産、丸紅、三菱商事など	
素材企業	日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所、日立金属	

¹⁹ 日本原子力産業協会 Web ページ，会員一覧などを参考にステークホルダーを抽出した。 <https://www.jaif.or.jp/inf/links/>，参照日：2022-4-17

1-5. 事例分析：事故原因と対策

4つの事故調査委員会資料を比較・分析し、事故原因として何が指摘されているかを以下にまとめておく。

4つの事故調査委員会資料では、津波によって全交流電源と直流電源を喪失し、原子炉を安定的に冷却する機能が失われたことが、今回の大事故（炉心溶融、水素爆発、放射性物質の大量拡散）の直接的原因とされている【民 p. 257】【東 p. 325】が、それ以外の要因も指摘されている。

今回の事故は、事故後の対応においては政府も当事者であったことを考慮すると、事業者である東京電力や政府とは独立した、より客観的な調査、報告という観点から国会と民間による事故調査報告は特に重要性が高い。また、この2つの事故調査委員会では、直接的な原因だけではなく、事故の遠因や背景、被害拡大の原因、緊急時対応の問題、安全神話、法規制、リスクコミュニケーションなど、多角的な観点から分析を行っている。

そのため、本論文では、民間事故調の報告書を中心として、国会事故調、政府事故調についても、事故の遠因と背景（「事故原因」と総称する）について、その記載内容を抽出した。次に抽出した記載内容を、事故前の、1. リスク認識、2. 技術思想の伝承、3. 法律、技術基準、安全基準、という観点から、また事故時、事故後の、4. 安全管理、5. リテラシー、の観点から、分類、分析することができた。以下各項目について、詳細に述べる²⁰。

I-5-1 リスクの認識

もともと、事故発生以前から、国、原子力事業者をはじめとした「原子力村」全体を覆っていた「安全神話」や「米国導入技術への過信」は、この福島原発事故へどのような影響を与えたのであろうか？

また、事故の直接的原因となった日本固有の巨大地震、巨大津波というリスク

²⁰ なお、東電事故調では事前の備えについて、「国や専門機関が定める技術基準等を満たす設備指針・対策を実施するとともに、過去の自然災害や国内外の事故事象などの知見を適宜発電所の設備・運転に反映し、原子力安全の更なる向上に向けた取組みを継続的に実施してきた」【東 p.35】とされている。なお事故原因について結果的に甘さがあり、津波に対する備えが不十分であったことが根源的な原因【東 p.325】、とされており、事故の遠因と背景については、その他に記載が確認されていない。

に対し、国や原子力事業者はどのように認識し、対応していたのだろうか？

(1) 安全神話依存

民間事故調では、原子力発電所の事故への備えが不十分であった背景には、「過酷事故に対する備えそのものが、住民の原子力発電に対する不安を引き起こすという、原子力をめぐる倒錯した絶対安全神話があったからだ」とされている【民 p. 385】。

また、政府事故調では、東京電力を含む電力事業者や国もわが国の原子力発電所においては炉心溶融という深刻なシビアアクシデントは発生しえないという安全神話にとらわれていたため、身近な危機として捉えることができなかつたことが根源的な問題であると指摘している【政 p. 402-403】。

民間事故調では、日本原子力学会標準委員長の宮野廣は、日本原子力学会特別シンポジウム（2011年9月19日、北九州市）で「一面から見た安全尺度の採用と過信」を事故の遠因に挙げ、「わが国の原子力発電所では、計画外スクラム（停止）の頻度が極めて低いことは世界的にも有名である。そこに安全神話が形成されてしまったのではないか。従って、確率論的安全評価（PSA）のニーズが少なく、「せっかく安全だというのに」という思いから、取組が遅れてしまったのではないか」²¹と述べている【民 p. 260】。

民間事故調では、「このことは、深層防護²²の考え方の根本となる防護レベルの独立性について、十分に理解されていなかった」ことを意味している。すなわち「第1層の指標である計画外停止頻度」にとどまらず、「第3層の指標である炉心損傷確率についても、より積極的に評価されるべき」であり、「その評価結果に基づいて、プラントの弱点を明確にし、必要な対策を追加する必要があった」【民 p. 260】とされている。

技術者自身が設計、試作したもの、或は日常的に操作している装置については、非常時でも適切な操作が可能である。しかし、福島原発事故での外部電源や非常用ディーゼル発電機、スリーマイル島原発事故での ECCS（緊急炉心冷却装置）のような非常用装置について、特に絶対安全という安全神話にとらわれていた事業者においては、技術者自身に設計・試作・操作・訓練経験がなく、非常時の適切な操作は不可能であった。特に、福島原発事故については、フルターンキー

²¹ 宮野廣，日本原子力学会特別シンポジウム，講演資料，2011年9月19日，北九州市

²² 原子力施設の安全対策を多段的に設ける考え方

で米国から導入したという事情を考慮すればなおさらである²³。

国会事故調では、全電源喪失の際、IC（非常用復水器）の運転状況を把握し、速やかに運転状態に復旧させることが、一刻を争う最優先の対応である【国 p. 153】とされている。

政府事故調では、福島第一原発1号機に設置されていたICについて、当直をはじめ発電所対策本部、本店対策本部に至るまで、その機能や運転操作に対し、十分に理解しておらず、断続的な入手情報から正確なICの作動状況の把握はできていなかった【政 p. 408】、とされている。

このように、国会事故調、政府事故調、民間事故調いずれに記載の通り、安全神話が原子力発電所の適切な安全管理を疎かにさせるとともに、思想面で大きな事故原因となったことは否めない。

安全神話からの適切な脱出が必要である。

(2) リスク認識誤り

元来、地震や津波等に代表されるように自然現象は不確実性を備えており、その予測は容易ではない²⁴。このためいつも「想定外」の事象が発生しており、従来の科学技術だけでは、十分に制御することができない。

実際に、阪神・淡路大震災、新潟県中越沖地震をはじめ原子力事業者の想定を超える天災は、これまで何度となく発生している。

民間事故調では、福島第一原子力発電所が原子炉の設置許可を取得したのが1966～72年で、1970年以前は津波を想定した明確な安全基準がなく、電力事業者は既知の津波痕跡を基に設計を行い、最終的に、小名浜港工事基準面+3.122m（当時小名浜港で観測されていた既往最大の1960年チリ地震津波の潮位）を設計条件として定めた【民 p. 268】、とされている。

電力事業者は2002年2月、土木学会が新たに津波評価技術をまとめたので建設時に3.1mだった福島第一原発の津波の想定を5.7mまで引き上げた。

国会事故調では、津波の想定について、以下の問題を指摘している。

- ①原子力保安院が津波想定の見直しの指示や審査を非公開で進め記録を残さなかったため、外部に実態がわからなかったこと

²³ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」, 技術倫理研究第12号, 名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp.49, 2015.11.30

²⁴ 藤森隆郎「森林における野生生物の保護管理 生物多様性の保全に向けて」, 日本林業調査会, pp.84, 1999

- ②土木学会の津波高さ評価手法について、原子力保安院は内容を精査せず、津波対策の標準手法として利用してきた
- ③東京電力が津波対策を実施しないことを正当化し、対策を先延ばしにしていた【国 p. 27】

また、政府が2006年に原子力発電所の新耐震指針を制定したのを受けて耐震性評価のための専門家委員会が2009年6月に開かれた。その席で独立行政法人産業技術総合研究所 活断層・地震研究センターの岡村行信センター長（地質学が専門）が、869年に三陸沖を震源とする貞観地震が発生した際、大津波が仙台以南にも押し寄せたと指摘した²⁵。

岡村センター長は、さらに同規模の津波が450～800年程度の再来間隔で過去に繰り返し起きていたこともわかり、近い将来に再び起きる可能性も否定できない²⁶と警告を発していた。

政府事故調でも、地震や津波に関して、地域別、規模別の発生頻度を予測した確率論的評価について、記録が詳細に保存されている江戸時代以降の200～400年という限定された事例を基にしている。古文書等に十分に記録されておらず、地震や津波の規模や震源モデルの想定が難しい500～1000年の長周期で発生している事例は、データベース外になってしまっている【政 p. 412】とされている。

民間事故調には次のような指摘がある。電力事業者は三陸沖の波源モデルをもとに、最大15.7mの津波が発生し得ると試算していた。その試算に対応した防波堤設置には、数百億円の費用と4年の年月がかかる。最終的に「実際には津波はこない」と考え、電力事業者社内ではこれ以上の対応をせず、政府事故調査報告書では、津波問題について東電の「重要な問題として認識されていた形跡はうかがわれない【民 p. 317】とされている。

また、民間事故調によれば、福島第一原発でも、長期間の全交流電源喪失の危険性が認識され、一部対策が講じられていた。すなわち1号機では、各々2台の非常用ディーゼル発電機が配備され、シビアアクシデント対策として、電源融通用ケーブルが敷設されていた。それにもかかわらず、1号機が全交流電源喪失に陥ったのは、発電機を接続していた金属閉鎖配電盤等が浸水したことによる【民 p. 257】とされている。

このように、巨大地震、巨大津波というわが国の原発に固有のリスクに対して、

²⁵ 北海道新聞、2011年3月26日

²⁶ 宍倉正展、岡村行信「平安の人々が見た巨大津波を再現する－西暦869年貞観津波－」AFERC NEWS No.16 2010/8, pp.1-10

リスク想定、リスク対応がきわめて不十分で、その結果重大な事故を起こしたといえる。

巨大地震、巨大津波等、特に巨大リスクへの認識力、対応力の向上が必要である。

(3) 中枢部多重防護システムへの依存

原子力発電所の中枢部分は、放射性物質が漏れないようにつくられた、多層にもわたる物理的な障壁から構成されている。具体的には燃料ペレット（第1の壁）、燃料被覆管（第2の壁）、原子炉圧力容器（第3の壁）、原子炉格納容器（第4の壁）、原子炉建屋（第5の壁）の5重の壁から構成されている。

元来、技術者は、各専門分野の技術の安全性評価・管理はできるが、巨大化・総合化・複雑化した科学技術である原子力発電所全体のシステムの構成や、トラブル・事故に備えての多重制御、さらには非常用電源装置、防波堤等の周辺部を含めたシステム全体の安全性の評価・構築・管理ができていないのが現状である²⁷。

また民間事故調では、わが国においては、定期検査などの仕組みにおいては、個々の機器や構造物の性能が、定期的に、かつ詳細に評価されており、そのため海外品と比較すると、個々の機器の信頼性は高いという傾向がある。一方で、設備全体の安全性は、評価が十分ではなかった可能性が指摘できる【民 p. 259-260】とされている。

すなわち、確かに原子力発電所という巨大化・総合化・複雑化した科学技術であるシステムにおいて中枢部分は高い安全設計であった。しかし、今回の大震災における外部電源や非常用ディーゼル発電機の電源喪失のように、周辺部において、見落としがあるとエラーが発生しやすく、システム全体が機能不全に陥る場合がある。

原子炉建屋内やタービン建屋内等といういわゆる「システム中枢領域」についての安全性確保のため、二重三重に安全対策を実施する。それにより原子力事業者は、「原発は安全」と認識する。さらに確信に至ると、中枢領域以外についての安全確保については、その内容や点検姿勢について緩みがちになる点を指摘している【政 p. 414-415】。

システムの中枢部分だけではなく、周辺部も含めたシステム全体の安全性評

²⁷ 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」、技術倫理研究 第8号名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp.29, 2011.12.5

価・構築・管理等のハード面での対策と同時に想定外を想定した防災訓練，あるいは致命的な被害には至らない減災訓練等のソフト面での対策が必要である²⁸。

全電源喪失を想定したバッテリーを含めた電源配置の多様性，注水・冷却設備の多重性，可搬式の安全設備の準備等による柔軟な対応策の整備，さらに迅速なバルブの手動開閉操作による減圧作業等の訓練等，想定可能な準備・訓練を重ねていればこのような大惨事に至らなかつたはずである^{29,30}。

中枢部だけでなく，周辺部も含めたシステム全体の安全管理への移行が必要である。

(4) 米国からの導入技術への盲信

原子力発電所については，設計から機器・資材・役務の調達，建設及び試運転までの全業務をゼネラル・エレクトリック社（GE）が一括して定額で，納期，保証，性能保証責任を請け負うフルターン契約方式で米国から導入した。そして，その導入当初からハード面，ソフト面でも40年以上前の米国の技術や思想を基本にした法律，安全基準，技術基準，知見等，それを基に国によって策定されたマニュアル，基準，規格を原子力発電所関係者が盲信し，遵守することのみを最優先した。そのため，その本来の技術の背景や考え方を学び，危険性やリスクを評価し，社会に対し必要な警告をするという本来必要なアプローチを実施していない³¹。

国会事故調においては，GE社は，この方式によりスペインのサンタマリア・デ・ガローニャ原発（以下「スペイン炉」）を受注した。元東京電力幹部へのヒアリングによれば，東京電力がGE社を採用した大きな理由は，スペイン炉と同じ設計の炉を採用すれば設計図面や製造図面を活用できるという点が挙げられている【国 p. 65】。

²⁸ 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」，技術倫理研究第8号名古屋工業大学 技術倫理研究会編，pp.27-29，2011.12.5

²⁹ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」，技術倫理研究第12号，名古屋工業大学 技術倫理研究会編，pp.48，2015.11.30

³⁰ 4つの事故調査委員会資料や日本学術会議 総合工学委員会 原子力事故対応分科会（2014）「報告 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」なども参考にした

³¹ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」，技術倫理研究第12号，名古屋工業大学 技術倫理研究会編，pp.46，2015.11.30

ところが、スペイン炉の建設が遅れ、福島第一原発1号機の建設が先行してしまい、スペインの経験を取り入れるはずが、福島第一原発1号機のほうで、各種トラブルを最初に経験することになった。【国 p. 65-66】。

国会事故調によれば、日本側の当時の耐震設計の仕様がGE社のパッケージ商品に適切に組み込まれたかということが、大きな課題であるが、日本の耐震設計基準はスペインの基準と比べて厳しいため、GE社の設計には正しく入っていなかった。そのため、機器において各所で支持構造物に対する補強が必要となり、特に格納容器においては、多くの補強材が必要となり、その結果空間的余裕がなくなり、運転開始後も作業等に困難が発生し、余計な時間と被ばくが増大することになった【国 p. 65-66】とされている。

また、福島第一原発1～3号機の運転開始後には、大小さまざまな初期トラブル、すなわち、燃料チャンネルボックスの損傷、燃料破損や配管応力腐食割れ、低サイクル熱疲労破壊等が発生し、設計変更を余儀なくされている【国 p. 66】。

民間事故調では、当時の社会的な背景としては、科学技術全般に対して社会的信頼が高く、原子力技術自体が外国からの導入技術であり、外国で設定された安全基準を保持すれば原子力安全は保障されるという強い共通認識があった【民 p. 290】、とされている。

しかし、法律や安全基準等は過去の経験や経済性等を考慮したある水準を守ることを義務付けられたものである。

法律や安全基準等を遵守するだけでは、「想定内」での安全確保ができたとしても想定外の事象を含めて、特に科学には常に未知の部分が存在し現在進行形で解明が進められるという「作動中の科学」に対しては、絶対安全というわけではない。すなわち、不確実性があり、予測が容易でない自然現象や自然のリスクに対して、国の認可や法律、安全基準だけでは、事前に想定外の自然のリスクやそれに伴う連鎖反動的な「負の効果」を防ぐことはできないのである。まして東京電力が「原子力発電所が国の指針に適合している」ことさえ立証すれば事業者の社会的責任を果たしたことになるのは言うまでもない³²。

このように、米国からの導入技術への盲信が、安全管理を疎かにさせるとともに、思想面で大きな事故原因となったことは否めない。

「米国導入技術への盲信」からの適切な脱出が必要である。

³² 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」、技術倫理研究第8号名古屋工業大学 技術倫理研究会編，pp.26-27，2011.12.5

I-5-2 技術思想の伝承

福島第一原子力発電所は、40年以上前に米国から導入された技術であるが、そもそも米国から日本に「技術思想」が正しく伝承され設置されたのであろうか？

わが国では、原子力政策により、この地震大国で津波の被害を避けることができない海岸に54基もの原子力発電所を建設・稼働させてきた。

そもそも40年以上前に米国から導入した原子力発電所は、米国固有の、①大地震が想定されない、②内陸部の大河近くに設置する、という設置環境を想定したものであり、地震大国で海岸に設置せざるを得ないという日本固有の設置環境を考慮したものではなかった³³。

この米国からの導入技術に対し、海の近くに設置するという日本固有での設置環境を考慮せず、又地震大国であり貞観地震レベルの巨大地震・巨大津波という日本固有のリスクが存在するにもかかわらず、安全性評価、リスク評価を十分に行わなかった²⁰。

従って米国から導入した原子力発電所の技術思想が米国から日本へ正しく伝承され、運用されたとは考えられない。

国会事故調によれば、福島第一原発の1～3号機の設置許可申請が行われた昭和40年代前半は地震科学が未熟であり、敷地周辺の地震活動は低いと想定され、安全規制のための耐震設計基準が存在せず、安全機能が保ち続けられることを確認するための地震動については東京電力が独自に設定し、経験主義的に審査された【国 p. 59～63】とされている。また、この福島第一原発が立地する丘陵地には、地質年代の若い、柔らかい地層が30m以上存在する。堅固な基盤は海面下200mの深さに存在する。このように原発設計には元々適さない場所である。海拔10mまで丘陵を削って原発施設を造ったことについては、津波対策の観点からは問題があるが、原子炉建屋の支持層を海面より下に求めている状況であり、より高所への建設は不可能に近かった【国 p. 65】とされている。

米国仕様品の導入にあたり、適切に日本仕様品として設置するという、技術思想の伝承が必要である。

³³ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」、技術倫理研究第12号、名古屋工業大学 技術倫理研究会編、pp.42, 2015.11.30

I-5-3 法律，技術基準，安全基準

それでは、米国からの導入技術である福島第一原子力発電所の法律，技術基準，安全基準については，どのように伝承され，運用されたのであろうか？新しい原子力発電所はその時代時代の法律，技術基準，安全基準，知見に基づいた設計・建設・設置等が行われている。

福島第一原子力発電所は，ハード面，ソフト面でも40年前の法律，技術基準，安全基準，知見に基づくと同時に，米国での設置環境を想定した科学技術である²³。

一方，福島第一原子力発電所が稼動してからの約40年の間に，科学技術は急速に発展し，当初は想定できなかった地震や津波，さらにそれに伴う被害の発生も予見できるようになってきている。また，全電源喪失は米国で30年前に想定されている³⁴。さらに，2010年10月に公表された経済産業省所管の原子力安全基盤機構による電源喪失における圧力容器破損のシミュレーション結果のように，原子力発電所の電源喪失が起きることを想定していた研究も存在する³⁵。

一方原子力安全機構が2010年に公表したシミュレーションによると，電源を喪失し，冷却機能を失った原子炉は，わずか1時間40分ほどで核燃料が溶け出すという炉心熔融を起こすなど，短時間で危機的状況に陥ることが指摘されていた³⁶。

一方，原発の規制基準については，福島原発事故後，原子力規制委員会は，2013年6月19日，新規制基準を決定し（施行は7月8日），新たな要求事項として，シビアアクシデント対策を加えたが，福島原発事故発生前までは，「シビアアクシデント対策」については，「事業者の自主的対策」とされていた。

ここで「シビアアクシデント」³⁷とは，「設計基準事象を大幅に超える事象であって，安全設計の評価上想定された手段では適切な炉心の冷却又は反応度の制御が出来ない状態であり，その結果，炉心の重大な損傷に至る事象（シビアアクシデントの重大さは，その損傷の程度や格納施設の健全性の喪失の程度による）」とされている。

また，津波について，福島原発事故後，原子力安全委員会では，2012年3月

³⁴ 朝日新聞，2011年3月31日

³⁵ 朝日新聞，2011年4月21日

³⁶ 毎日新聞，2011年4月19日

³⁷ 東京電力「柏崎刈羽原子力発電所のアクシデントマネジメント整備報告書」,pp.1-42, 2002

22 日に新規制基準を決定し、「原発ごとに「基準津波」を設定」に変更されたが、福島原発事故前までは、「地震随伴事象」として津波を考慮」としていた。

そのため、東京電力はシビアアクシデント対策として、外部電源や非常用ディーゼル発電機の電源機能を長時間失う事態をいずれも想定されていたが、対策に取り組むと膨大なコストを必要とするため、経済性等を考慮して想定から外されたという想定外とし、この科学技術成果、研究成果、知見を、技術基準、安全基準に反映しなかった。国も経済性の理由から、また絶対安全という建前上から「送電線の復旧、非常用発電機の修復が期待できるため考慮不要」³⁸と了承していたのである。

さらに、原子力関連の科学者、技術者は、原子炉の冷却停止シミュレーションや放出された放射性物質の拡散シミュレーションと、多くの有効な科学的知見を見出していながら、直接、安全基準、行動基準等に十分に生かされなかった。

また、その後も 40 年前の法律、技術基準、安全基準を踏襲し、現在進行形で急速に発展する科学技術研究の未知の部分の解明を行うという原子力関連の科学技術成果や地震、津波等自然災害に関するいわゆる作動中の科学の研究成果や知見をこの巨大化・総合化・複雑化した科学技術に十分に反映しなかったのである³⁹。

国会事故調によれば、1957 年 6 月に交付された「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、「原子炉等規制法」）に基づき、実用発電用の原子炉の新・増設については内閣総理大臣（1978 年から通商産業大臣、2001 年から経済産業大臣）の許可を受けることが必要であるが、福島第一原発 1～6 号機が「設置許可された当時は、安全審査についてガイドラインとなる基準等はほとんど明文化されていなかった。同様に、安全審査の一部である耐震設計方針の妥当性も、個別の経験主義的な審査に任せられていた。その後 1978 年に耐震設計審査指針が制定され、2006 年に改訂されたが、決定以前に設置許可された原発に対しても最新の基準をさかのぼって適用する（バックフィット）」というような法的仕組みはなかった【国 p. 66】とされている。

I-5-4 非常用装置の使用

それでは、このような、リスク認識、技術思想、法律、技術基準、安全基準に

³⁸ 毎日新聞、2011 年 4 月 19 日

³⁹ 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」、技術倫理研究第 8 号名古屋工業大学 技術倫理研究会編、pp.27, 2011.12.5

基づいた事故時の非常用装置はどのように使用されたのであろうか？

事故時には、通常、IC（非常用復水器）が作動し、非常時の冷却機能を活用できる仕組みになっている。しかし、政府事故調によれば、1号機の運転員は、ICに対する理解不足と不十分な訓練により、1号機のIC作動状況を誤認しICによる冷却機能を活用できなかった⁴⁰とされている。

すなわち、民間事故調によれば、ICが作動していると思い込んでしまい、冷却機能が途切れたことに気がつかず、その結果消火ポンプや消防車を利用した1号機原子炉への代替の注水を直ちに実施しなかったことや、さらに格納容器のベントを11日夜までに速やかに実施しなかったことが決定的に事態を悪化させてしまった【民p.383】とされている。

国会事故調によれば、株式会社BWR運転訓練センター⁴¹での過酷事故の教育・訓練は、直流電源確保のもとで、中央制御室の制御盤が使用可能という条件であり、本事故のように直流電源までも喪失し、中央制御室の制御盤が使用できない条件での事故は対象外であった。また、そこでの教育・訓練は、実技訓練はなしで、「過酷事故対応」の内容を「説明できる」ことを目標とする机上訓練であった。

理由の一つとして、過酷事故対応は、事故時に設置される緊急対策室をはじめとし中央制御室以外の組織や人員との連携が必要で、中央制御室の運転員のみではできないためである【国p.182】とされている。

技術者自身が設計、試作したもの、或は日常的に操作している装置については、非常時でも適切な操作が可能である。しかし、スリーマイル島原発事故でのECCS（緊急炉心冷却装置）のような非常用装置について、特に絶対安全という安全神話にとらわれていた事業者にとっては、技術者自身に設計・試作、操作・訓練経験がなく、非常時には適切な操作が不可能であった⁴²。非常用装置について、日常からの理解、操作訓練が必要である。

I-5-5 公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシー

科学技術を十分に理解しているとは言えない公衆に対しては、科学技術に携

⁴⁰ 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（政府事故調）「中間報告」, pp.472-474, 2011

⁴¹ 沸騰水型原子炉（Boiling Water Reactor）の運転員の養成を行う訓練機関

⁴² 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」, 技術倫理研究第12号, 名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp.49, 2015.11.30

わる者、すなわち技術者、研究者が、公衆に理解できるように、読み書き話す能力、すなわち、科学技術リテラシーを伝授することが必要不可欠である。一方、技術者、研究者は自己の専門分野の科学技術そのものには詳しいが、社会環境が急激に変化する中、その科学技術を社会に適用する場合、どのように展開していくかを考える能力、社会リテラシーを的確に身につけることが必要である。

原子力の政策決定者、専門家や関係者は、原子力に潜在する事故、放射線被曝、環境汚染や放射性廃棄物等の危険性やリスク、さらに技術的あるいは、倫理的な問題について、社会に対して何ら警告を発することなく、ここまで進めてきてしまったことは、社会リテラシーの欠如にも起因すると言わざるをえない。

今回の福島原子力発電所事故において原子力における技術者は原子力という科学技術の危険性、リスクの実態を正確かつ迅速に社会に説明し、警告を発しリスク受容について公衆との間に、社会的合意を形成しなかったことは、社会リテラシーの欠如に起因するところが少なくない。

特に低線量放射線の人体への影響、住民への避難勧告、農作物の出荷制限等において、科学的知見のもとに意思決定が求められたが、その過程で混乱を招く結果となった。さらには原子力発電所事故後に SPEEDI（緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム）の解析結果が速やかに公開されずに、一部の住民が本来回避可能な放射線被曝を受けるという事例も発生した。さらに、事故の進展や避難に資する情報が住民に伝えられず、多数回の避難移動、線量の高い地域への避難等、被害拡大に繋がった。

民間事故調によれば、SPEEDI についての予測結果が官邸トップに報告されていれば、避難指示を示すの一定の判断材料として利用できた可能性がある【民 p. 177-179】とされている。

国会事故調によれば、「原子力防災対策において、複合災害やシビアアクシデントの想定が欠けていたことを問題としており、SPEEDI については、放射性物質の放射源情報なしに計算した結果には」、初動における「避難区域の設定の根拠にできる正確性はない」として、「初動の避難指示を決定することは困難であった」【国 p. 381-393】とされている。

また、政府事故調では、「周辺住民の避難」にあたり大事であると考えられる「放射性物質の拡散状況と予測についての情報提供方法」、「炉心の状態や福島第一原発3号機の危機的な状態等に関する情報提供方法」、さらに「放射線の人体への影響」などにおいて、何度も繰り返された「直ちに人体に影響を及ぼすものではない。」という曖昧な解説などについても、真実を迅速・正確に伝えていないのではないかと住民に疑惑や不信を招いた【政 p. 424-425】とされている。

今回の大震災、原子力発電所事故を踏まえて、特に現在進行形の被害拡大防止

等という緊急時の科学コミュニケーションの仕組みの構築が求められている。今回の大震災や原子力発電所の事故の事例からもわかるように、想定外の事象や、データ、あるいは解釈が困難なデータが存在する場合は、正確、詳細、かつ迅速な社会や公衆への説明が困難になり、さらに、社会的な合意形成は困難になる。

また、このような状況下では、技術者と公衆の双方向のコミュニケーション、及び相互理解が不可欠であり、本来、科学者、技術者は、公衆に情報を適宜、適切な方法で提供することにより、情報公開し、公衆への説明責任を果たすことにより、公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシー、及び双方のリテラシーの向上、融合を図る必要がある。

以上より、事故原因と対策をまとめたものを表 1-2 に示す

表 1-2 福島原子力発電所事故：事故・被害拡大の原因と対策

	項目	事故・被害拡大の原因	対策
1	リスクの認識	① 安全神話依存 ② リスク認識誤り ③ 中枢部多重防護システム依存 ④ 米国からの導入技術への盲信、	① 安全神話からの脱出 ② リスク認識力、リスク対応力の向上 ③ システム依存からの脱出。周辺部も含めた安全管理への移行 ④ 米国からの導入技術への盲信からの脱出、
2	技術思想の伝承	① 技術思想の未伝承（米国仕様品（地震フリー、内陸部設置）の導入	① 技術思想の伝承：日本仕様品（巨大地震、海岸設置）としての設置
3	法律、技術基準、安全基準	① 40年前の法律、技術基準、安全基準の踏襲	① 従来法律、技術基準、安全基準からの脱却 ② 最新の技術的知見の反映
4	非常用装置の使用	① 事故時の非常用装置作動誤認	① 非常用装置の作動理解と日常訓練
5	リテラシー	① 公衆の科学技術リテラシー、技術者の社会リテラシーの欠如	① 公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシーの向上及び融合

第Ⅱ章 巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術思想伝承の事例分析

Ⅱ-1. 技術思想とは

日本では、古くから多くの技術導入・国産化を行い科学技術の向上と国民経済の発展に大きく寄与してきた。特に戦後は、戦後復興と高度経済成長を目指し、原子力発電所をはじめとした大型科学技術について、その技術的及び経済的優位性を主張し、短期間に海外から導入し、国産化を推進してきた。

そもそも、技術開発においては、その設計の概念、コンセプトとしての「設計思想」を明確化する必要がある。また、設計思想は、設計仕様を決める時のトレードオフでの優先順位付けを行う際の、基盤となるものでもある。

例えば、スポーツカーを例にあげると、その設計思想として、走行性、経済性、安全性、デザイン性、耐久性等のトレードオフでの優先順位として、走行性とデザイン性に価値の重点を置いたものである。

さらに、科学技術を設計段階に限定せず、設計、開発、設置、導入、維持管理する際には当該技術の各段階において実施する普遍的な前提条件や考え方、知識としての技術思想を明確化する必要がある。巨大化・総合化・複雑化した科学技術は、技術思想の観点からどのように、設計、開発、設置、導入、維持管理されてきたのであろうか？

また、海外からの導入技術については、その導入過程において、その科学技術の本来の技術思想や設計思想は十分に伝承されたのであろうか？

本章では、巨大化・総合化・複雑化した科学技術について、その技術思想に着目し、その伝承の成功例と失敗例について、分析、検証を行い、技術思想を正しく伝承するための提案を行う。

技術思想、設計思想という用語は、古くから広く使われているが、その概念や定義そのものについては、各専門家によって固有の部分も多く、統一されておらず、明確化されていないのが現状である。この技術思想という用語には、大きく2通りの使われ方がある。

まず、第一の用法についてまとめておく。例えば、物理学者で科学史家の杉田元宜によれば技術思想とは、「個々の技術ではなくその背景にある思想」あるいは、「技術について時代のはやり廃りや支配的な思想」⁴³とされている。さらに、

⁴³ 杉田本宜「情報と制御の理論(cybernetics)と新しい技術思想」、『一橋大学研究年報. 社会学研究』, pp.101-144, 1959

「技術思想の変遷」という章において論じる際に、「古代の技術が力の拡大を中心思想としていたのに対して、中世では熟練を中心とするものに進歩している」⁴⁴と述べている。

また、『技術思想の変遷』⁴⁵（村上陽一郎編著，朝倉書店，1981）の中で，科学史家で哲学者の坂本賢三は，「採鉱・冶金の技術思想」という章において論じる際に，「採鉱と冶金は，見たところ異なった技術のように思われる．坑を掘ること，岩石や鉱石を運び出すこと，通気や照明や排水を配慮することなど，採鉱は土木的な技術でありその手段が機械的であるのに対し，冶金の方は精錬や合金・鑄造など化学的な技術であるように見える．この点から言えば採鉱の思想と冶金の思想は区別されなくてはならない」⁴⁶と述べている．また，「産業革命期に蒸気原動機が登場するまで主要な原動機は水車であった．水車の普及つまり原動機の普及は自然の中に，つまり人力以外のところに力の源泉を見る見方を普及し，伝動機構を通じてのその作業機への伝達は，すべては，外力によって動かされるとする機械論を生むことになった」⁴⁷と述べている。

このように，原動機の普及により，「すべては，外力によって動かされるとする思想」⁴⁸が生まれた．技術思想とはここでは「そもそもの技術としての成り立ちの概念」⁴⁹として解釈されている。

また，国際連合大学科学アドバイザーの坂本憲一は「経済発展のための資源循環型技術思想」⁵⁰の例としてクローズドシステム，ゼロエミッション，インダストリアルエコロジー等を挙げており，ここでは技術思想を「技術のコンセプト，

⁴⁴ 杉田本宜「情報と制御の理論(cybernetics)と新しい技術思想」，『一橋大学研究年報．社会学研究』，pp.101-144，1959

⁴⁵ 坂本賢三「第三章 技術的発達と近代科学」，村上陽一郎編『知の革命史 7 技術思想の変遷』朝倉書店，pp.73-102,1981

⁴⁶ 坂本賢三「第三章 技術的発達と近代科学」，村上陽一郎編『知の革命史 7 技術思想の変遷』朝倉書店，pp.73-102,1981

⁴⁷ 坂本賢三「第三章 技術的発達と近代科学」，村上陽一郎編『知の革命史 7 技術思想の変遷』朝倉書店，pp.73-102,1981

⁴⁸ 坂本賢三「第三章 技術的発達と近代科学」，村上陽一郎編『知の革命史 7 技術思想の変遷』朝倉書店，pp.73-102,1981

⁴⁹ 坂本賢三「第三章 技術的発達と近代科学」，村上陽一郎編『知の革命史 7 技術思想の変遷』朝倉書店，pp.73-102,1981

⁵⁰ 坂本憲一「21世紀における北東アジアの経済発展と環境」，島根県立大学北東アジア地域研究センター，『北東アジア研究』第5号,pp.19-33，2003

概念，全体を貫く基本的な観点・考え方⁵¹として位置づけている。

すなわち，以上では，技術思想を「技術の背景にあって，その技術の普遍的な前提条件や考え方となる思想」と位置づけて使われている。

次に，第二の用法についてまとめておく。

一方、『脱原発の技術思想』⁵²において，金属材料工学者で「柏崎刈羽原発の閉鎖を訴える科学者・技術者の会」代表の井野博満は「1960年代における科学技術思想の展開は，科学至上主義からの脱却，すなわち，科学や技術の進歩に対する疑義・不信であり，同時に科学や技術を支え推進する主体，すなわち科学者や技術者という専門家たちへの不信，その存在自体への批判・否定へと向かったと総括できる．このような日本における脱原発運動の高まりは，同時代的に世界各地で巻き起こった運動と軌を一にしていた」⁵³と述べており，ここでは技術思想を，「科学技術に対する主な考え方・姿勢」⁵⁴と位置づけている．すなわち，第一の用法においては，思想の主体が技術の担い手であるのに対し，第二の用法においては，思想の主体が社会で，技術思想を「技術に対する社会の考え方」を意味するものとされている。

また，技術思想とともによく用いられる設計思想については，通常，設計の概念，コンセプトを意味するものとされている。

例えば，井野博満は福井地裁大飯原発差止判決において，電力会社における原発の設計思想について，以下の通り述べている⁵⁵。

(1)大飯原発差止の判決は，さまざまな点において画期的なものであるが，原発の設計思想を問い質したという意義も大きい。

(2)耐震設計の基本的問題点は，設備・機器を「安全上重要な設備」とそれ以外の設備に分類し，前者は耐震Sクラスで設計し，後者は耐震Bクラスあるいは，Cクラスで設計するとしていることである．B・Cクラスは，通常の建造物と同レベルの耐震性しか要求されていない．原発の設計思想は，この「安全上重要な設備・機器」のみ無事であれば，それ以外の設備・機器は壊れてもよいという考えである。

⁵¹ 坂本憲一「21世紀における北東アジアの経済発展と環境」，島根県立大学北東アジア地域研究センター，『北東アジア研究』第5号，pp.19-33，2003

⁵² 井野博満「脱原発の技術思想」，岩波書店『世界』2，pp.183-200，2017

⁵³ 井野博満「脱原発の技術思想」，岩波書店『世界』2，pp.183-200，2017

⁵⁴ 井野博満「脱原発の技術思想」，岩波書店『世界』2，pp.183-200，2017

⁵⁵ 井野博満「脱原発の技術思想」，岩波書店『世界』2，pp.183-200，2017

(3)一般に、技術が実現されるためには、①その機能性（利便性）、②経済性（コスト）、③安全性、④環境適合性の4条件が求められる。このような技術の4条件のバランスのもとでつくられてきた。

ここでは設計思想とは「設計仕様を決める時の①その機能性（利便性）、②経済性（コスト）、③安全性、④環境適合性のトレードオフでの4条件の優先順位付けを行う際の、基盤となるもの」を意味するものとされている。

本章では、これらの従来の技術思想の概念をもとに、この設計思想の概念を、さらに設計、開発、設置、導入、維持管理段階まで拡張し、「科学技術を設計段階に限定せず、設計、開発、設置、導入、維持管理する際の当該技術の各段階において実施する①その機能性（利便性）、②経済性（コスト）、③安全性、④環境適合性の4条件に関連した普遍的な前提条件や考え方、知識としての技術思想と定義することにより、技術思想に設計思想を含めて考えることとする。

II-2. 技術思想の伝承の失敗事例

II-2-1. 六本木ヒルズ自動回転ドア事故⁵⁶

2004年3月26日東京都港区六本木の六本木ヒルズ森タワー2階正面入口で、母親と観光のために訪問していた6歳男児が自動回転ドア（直径4.8m）に頭を挟まれ死亡するという事故があった。男児は母親の前を歩き、母親より先にビルに入ろうとして円柱型の回転ドアに入り込んだ際、左側から回ってきた回転ドアとドアの外枠との間に頭を挟まれた。後ろを歩いていた母親とそばにいた人がドアを逆回転させて男児を助け出し、その後病院に搬送されたが約2時間後に死亡した。自動回転ドアにはセンサーが設置され、人が無理に入るとセンサーが感応して自動的に停止させる仕組みとなっている。

⁵⁶ 本事例は以下を参考に記載した。

・自動回転ドア事故防止対策に関する検討会「自動回転ドア事故防止対策について」、pp.1-32,2004

・畑村洋太郎『だから失敗は起こる』, NHK 出版, pp.15 - 28, 2007

・失敗学会：Web ページ, <http://www.shippai.org/fkd/cf/CZ0200718.html>,

参照日：2019-8-17

・中尾政之『続々失敗百選』, 森北出版, pp.175-179, 2016

センサーの感応する高さは120cmに設定されており、男児は、身長117cmで、それより低かったため、そのセンサーに感知されなかった。当初は、センサーの感応域は、高さ80cmに設定されていたが、後に駆け込み防止策のベルトが風に揺れ、しばしばセンサーが誤作動したため、高さ120cmに変更されていた。

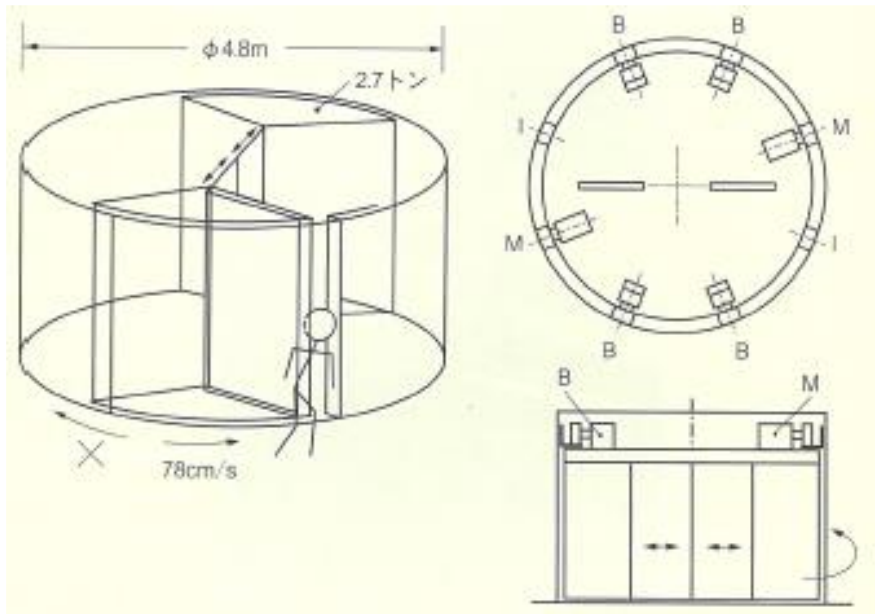


図 2-1 事故が起きた六本木自動回転ドア（出典：畑村洋太郎「ドアプロジェクトに学ぶ 検証回転ドア事故」日刊工業新聞社）



図 2-2 事故が起きた六本木自動回転ドア（出典：朝日新聞）

また、センサーが感知してから動いているドアが完全に止まるまでには 25cm 動いてしまう。これではセンサーが正常に感知しても安全が確保されない可能性がある。

この事例は、従来の回転ドアよりも巨大化し、モーターを複数台設置し、要素技術として、回転機械設備、電子検知設備、通信設備、制御設備、建築設備等に代表されるように、機械工学、材料工学、電気・電子工学、通信工学、制御工学、建築工学等の分野の工学を結び付けることによって「統合化」している。また、多数の要素技術とシステムを相互に結びつけることによって「複雑化」したシステムとして、巨大化・総合化・複雑化した科学技術の典型的な事例として、位置付けられる。

エレベーターや回転ドアの設計者の間では、「ドアは軽くてゆっくり動かなければ危ない」ということが、その分野に精通している人誰もが、言葉にしなくても経験を通じて暗黙のうちに身に付けている知識であり、その分野の技術思想であった。そのため、海外でもこの知識を、技術思想として採用していた。

この事故を起こした回転ドアを設計したのは、建築用金属製品・美術工芸品を扱う田島順三製作所で、1918年に設立された。そして、1995年頃オランダのブーンイダム社からこの回転ドアが技術導入された。田島順三製作所は1999年三和シャッター工業のグループ会社となり、製造会社として存続・継承された。また、販売会社として新たに三和タジマが設立された。その後、2001年に田島順三製作所とブーンイダム社との技術提携は破棄され、図面は回収され試作品だけが残された。そして、それ以外の知識、安全に関する情報や、設計思想、技術思想は伝承されなかった。

また、田島順三製作所は、安全に関する十分な考察や検証を行わず、「回転ドア」に変更を重ねて根本的な安全対策を講じなかった。日本では、過去より多くの海外技術の導入・国産化を行ってきた。多くの場合、技術と同時に安全基準も導入されており、本事例についても、安全基準は2002年の欧州連合格格に準拠（外周速度は100cm/s以下）し設計を行った。欧州では材料が軽量であったため、安全基準に速度しか定めていなかった。そのため、速度が独り歩きして、外周速度だけを守った。その結果、人がドアにぶつかったときの最大衝撃力について、2003年の米国規格「減速後許容運動エネルギー3.39ジュール以下」を無視してしまった。こうして、元来の技術思想が生かされなかった。もともと回転ドアは、寒さの厳しい欧州で開発されたものである。欧州では暖房効率を上げるために外気を遮断し、外気と室内の温度差を確保することが求められ、機密性が回転ドアの最も重要な機能とされた。

衝突の衝撃を減衰させるためにドアの可動部は軽量にすべしという思想があり、試作品もそのように作られていた。また、欧州の回転扉は安全性確保のため、回転部分が軽いアルミで作られていた（重量は0.9トン）。従って、実際にセンサーに手をあてて扉を止めようとする時、手が挟まれたり、巻き込まれたりすることはなく瞬時に扉が止まる。

一方、日本では高層ビルは冬期に建物内外の温度差で大きな圧力差が発生し、その内外の圧力差を維持する方策や、ビル風がビル内に流入するのを防ぐことが強く求められた。また一方で見映えも重視された。

その結果として、以下の変遷をたどった。

- a) 表面のアルミにステンレスを貼り付ける（高級感を醸し出すため）
- b) モーターを複数台設置する（回転の安定のため）
- c) 骨格をスチール製に変更する（ビル風によるゆがみやたわみを防止するため）

オランダからの導入時はアルミ製で0.9トンであったものが、これらの改良に伴い重量は増加し、事故が起きた回転ドアは2.7トンまでになってしまった。さらに、回転ドアはセンサーで危険を感知したときに瞬時に止めることができなくなった。

欧州のメーカーが開発した回転ドアが、日本のメーカーに渡り、様々な意図、都合等で仕様変更されていく過程で、伝えられるべき重要な情報、「ドアは軽くてゆっくり動かなければ危ない」というそもそもの回転ドアの技術思想が巨大化・総合化・複雑化した回転ドアに伝承されなかったのである。その本来の技術思想を文章化、明確化し後世の関係者に伝承することが必要である。

II-2-2. 福島第一原子力発電所事故

2011年3月11日に、事故が発生した福島第一原子力発電所は、40年以上前に米国から導入された技術であるが、そもそも米国から日本にその技術思想が正しく伝承され設置されたのであろうか？

日本においては、原子力発電所は1950年代に、安全性と経済的優位性のみが強調され「夢のエネルギー」として、導入された。そして、早急な商業炉の導入を求める産業界や経済界、通商産業省（現経済産業省）、科学技術庁（現文部科学省）等の要請により、国内での研究開発による国産の原子力発電所の導入を待たずに、海外からの商業炉の導入を求める声が高まった。その後も、わが国では54基もの原子力発電所を建設・稼働させてきた【民 p. 296】。

米国では竜巻やハリケーンに備えて非常用発電機は地下に設置する⁵⁷というのが技術思想の一つであった。その、米国の技術思想を正しく理解できず、日本独自の設置環境に置き換えることができなかった。

すなわちその設置環境という技術思想が、米国から日本へ伝承されず、原子力発電所がフルターンキーで日本に導入された。

GE 社が始めたこの方式は国際的にも注目され、GE 社は、この方式によりスペインのサンタマリア・デ・ガローニャ原発（以下「スペイン炉」）を受注していた【国 p. 65】。

元東京電力幹部へのヒアリングによれば、東京電力が GE 社に決めた大きな理由は、スペイン炉と同じ設計のものを採用すれば設計図面や製造図面がそのまま活用できる点を挙げている。また、特命発注することによってむしろ炉の購入価格を安くできる可能性が大きい、ことも要因として考えられている【国 p. 65】。日本は、地震大国であらゆる地域で地震が発生しうるし、また発電システムの中で冷却に必要な大量の水を海水に依存せざるを得ない。すなわち、地震大国の中の海岸に設置せざるを得ず、巨大地震・巨大津波という固有のリスクが存在する日本の設置環境を考慮したものではなかった⁵⁸。

また、その日本固有のリスクが存在するにもかかわらず、安全性評価、リスク評価を十分に行わなかったのである。

さらに、原子力を専門とする原子力学界、安価な電力を求める電力事業者、原子力を管轄する通商産業省（現経済産業省）と科学技術庁（現文部科学省）によって構成される、いわゆる「原子カムラ」が原子力の絶対安全を強調することで、技術思想が伝承されずに、自治体とその住民が原子力発電を受け入れやすい地盤を築いていった【民 p. 246】。

またスリーマイル島（TMI）原子力発電所事故（1979 年）やチェルノブイリ原子力発電所事故（1986 年）を経験した後も、「日本の原子力発電所は絶対安全である」という議論を主張し続け、これらの事故の教訓に基づいた安全性向上策はとらなかった。さらに、茨城県東海村の JCO 臨界事故（1999 年）のように日本における原発のトラブルも「一組織の問題」として取り扱われ、過去の教訓が活かされることなく、絶対安全という安全神話を前提とした体制が継続された。すなわち、原発の絶対安全を主張しつつ、事故対策を検討することすら許容されなかったのである【民 p. 246-247】。

⁵⁷ 朝日新聞 2011 年 6 月 11 日

⁵⁸ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」, 技術倫理研究第 12 号, 名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp.42-43, 2015

このような経緯を経て、「日本原子力発電会社」が設立された。そして、商業炉の運転については、電力会社が、そして事業者の監督と電力の安定供給について確保する責任は監督官庁として、通商産業省（現経済産業省）が担当することになった。また同時に国産原子力技術の開発については、科学技術庁（現文部科学省）が中心となって担当し続けることになり、原子力行政について「二元推進体制」が発生することとなった。そのため、原子力の安全規制に関する責任が不明確となった【民 p. 296】。

さらに、規制する立場としては、事業者が安全規制を形式的に遵守することを確認するだけになり、全体の安全性を政府が一元的に管理することが難しくなった。当時の社会情勢として、科学技術全般に対する社会的な信頼性が高かったため、技術思想を伝承するよりもむしろ、外国で設定された安全基準を遵守すれば、安全が確保されるとの意識にとらわれがちであった【民 p. 296】。

1973年に伊方原発の安全性についての訴訟が起こり、様々な争点で争われた。この裁判の結果、原発の安全性を証明するためには、多くの「証拠」の提示が必要という状況になった。そのため、原子力安全規制当局は、検査項目、及び検査時間を増加させ、膨大な資料が必要となった【民 p. 300】。

このように原子力の安全確保の実務は、技術思想の伝承ではなく、膨大な書類作成による検査の厳密化が最優先されるようになってしまったのである。

このような状況下で、原子力発電所の津波対策は、どのように研究、検討されていたのであろうか？

福島第一原子力発電所については、1966～1972年、に原子炉の設置・許可を取得した。それ以前は津波対策についての明確な基準がなかったため、過去の津波痕跡をもとに設計を行い、結果として小名浜港工事基準面+3.122m（当時小名浜港で観測されていた既往最大の1960年チリ地震津波の潮位）を設計条件として定めた【民 p. 268】。

1970年原子力委員会策定の「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」では、2.2「敷地の自然条件に対する設計上の考慮」において、「当該設備の故障が、安全上重大な事故の直接原因となる可能性のある系および機器は、その敷地および周辺地域において過去の記録を参照にして予測される自然条件のうち最も過酷と思われる自然力に耐え得るような設計であること」、及び「安全上重大な事故が発生したとした場合、あるいは確実に原子炉を停止しなければならない場合のごとく、事故による結果を軽減もしくは抑制するために安全上重要かつ必須の系および機器は、その敷地および周辺地域において、過去の記録を参照して予測される自然条件のうち最も過酷と思われる自然力と事故荷重を加えた力に対し、当該設備の機能が保持できるような設計であること」と定めら

れている【民 p. 268-269】。

ここで、この「予測される自然条件」とは、「敷地の自然環境をもとに、地震、洪水、津浪、嵐（または台風）、凍結、積雪等から適用されるものをいう」とされており、本指針を踏まえた安全審査で、チリ地震津波を踏まえた設計条件は妥当と判断され、設置許可されている【民 p. 268-269】。

1995年の阪神淡路大震災以降、数々の地震の研究が、国家的プロジェクトとして推進され、学問として目覚ましく発展をとげた【民 p. 272】。一方、津波については、主流な研究テーマとしては扱われていなかった。少なくとも2000年前後までは、一部の限定された研究者により、特定地点での堆積物調査等から既往最大津波の高さを推定するといった研究が中心であった。原子力発電所の安全性評価に必要な、具体的な最大高さ規模の津波について、具体的な再来間隔を予測するようなものではなかった【民 p. 272】。

すなわち津波は、主流な研究テーマとして扱われず、対策基準を含め具体的な津波対策は検討されていなかった。

このような状況下で、そもそも米国から導入した原子力発電所の津波における技術思想が米国から日本へ正しく伝承され、運用されたとは考えられない。

このように、米国独自の、「大地震が想定されない」「津波の影響を受けない」場所に原子力発電所を設置する⁵⁹という技術思想、また非常用発電機を地下に設置するのは、竜巻やハリケーンに備えるためである⁶⁰という技術思想が、米国から日本へ伝承されなかった。また、日本独自の設置環境に置き換えることができなかった。

その結果、想定を超えた巨大地震、敷地高さを超えた巨大津波が発生し、福島第一原発の電源盤が被水、浸水し、全電源が喪失し、全ての冷却機能が失われた。その結果、福島第一原発はメルtdownに陥ったのである。

米国仕様品の導入にあたり、技術思想を正しく学んで明文化して伝えるという伝承に加えて、「日本独自の環境に置き換える」という「日本仕様品として設置する」という技術思想の伝承が必要である。

II-3. 技術思想の伝承の成功事例

⁵⁹ 田岡直規「原子力における技術者の社会的責任」、技術倫理研究第12号、名古屋工業大学 技術倫理研究会編、pp.42-43、2015

⁶⁰ 朝日新聞、2011年6月11日

II-3-1. 女川原子力発電所建設工事⁶¹

東北電力女川には、福島原子力発電所とほぼ同型の沸騰水型軽水炉があり、東日本大震災では同規模の大津波に襲われた。この女川原子力発電所では、敷地の海拔は 13m であり津波対策として十分という大多数の意見の中、14.8m の高さに設定、対応した。その結果、地盤沈下 1m を伴う 13m の津波に何とか対応し、結果として、非常用発電機への直撃を回避することができた。

この女川原子力発電所では、技術思想をどのように伝承したのであろうか。元来、地震や津波、洪水、台風等の自然現象については、不確実性があり、想定外の現象が発生しており、従来の科学技術だけでは、十分に制御、対策することができない⁶²。

東北地方の太平洋岸では、869 年に貞観地震、貞観津波が、1611 年には慶長津波が、1896 年には明治三陸津波が発生している。貞観津波の痕跡は、1990 年に東北電力女川原子力発電所の建設所のメンバーが、2 号機の設置許可申請のための事前の地盤調査を行う際に発見した。福島第一原子力発電所では、現行の法律や安全基準等に加えて、貞観津波や慶長津波、さらには明治三陸津波レベルの津波、地震を対策等に生かすと、膨大なコストが必要になり、経済性等を考慮し、想定外と位置付け、対策を見送った。

女川原子力発電所は、東北電力の元副社長⁶³の平井彌之助が、貞観津波や明治三陸津波等の記録や文献を基に、これらの津波クラスの大津波に備える必要があると主張した。また、敷地の海拔は 13m であり十分という大多数の意見の中、さらに貞観地震において岩沼から 7km 内陸の千貫神社に津波が襲った事例を取り挙げ、最新の技術的知見を十分に反映した津波対策を取ることを主張し続けた。平井彌之助は津波という「自然に対する畏れを忘れない」真摯な態度をとり続けた。

法律や安全基準等は過去の経験や経済性等を考慮したある水準を守ることを

⁶¹ 本事例は以下を参考に記載した。

- ・電気学会倫理委員会編『事例で学ぶ技術者倫理－技術者倫理事例集（第 2 集）』、pp.34-38, 2014
- ・大島達治：「技術放談」,大成印刷, pp.30-37, 2015
- ・近畿化学協会『技術者による実践的工学倫理（第 4 版）』 pp.122-124, 2019

⁶² 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」, 技術倫理研究 第 8 号名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp.17-32, 2011.12.5

⁶³ 当時は電力中央研究所・技術研究所所長で社内の海岸施設研究委員会のメンバーも務めた。

義務付けるものであり、法律や安全基準等を遵守するだけでは、想定内の安全確保ができたとしても想定外の事象に対しては、絶対安全というわけではない⁶⁴。

規格や基準の策定は、安全性と経済合理性を勘案しながら実施されるが、時代の流れの中で、諸学問が進歩し、規格・基準を策定した際の前提条件等が変化しつつある中で、規格・基準に慣れてしまい、現実的には守るべき最低限の規範として判断し想定外の事象を考えなくなる恐れがある。

この対応には、「電力王」「電力の鬼」と言われ、今日の電気事業体制を築いた松永安左工門（1875年-1971年）の哲学「電気事業の基本は、公益事業として供給責任を全うすることに尽きる」という技術思想が、脈々として受け継がれていた。

松永安左工門は、戦前の東邦電力（現中部電力）を設立し社長を、1951年に電力中央研究所を設立し理事長を務めた。当時、東北電力社内にカリスマ的な「伝説の人物」として、脈々と生きていたのである。平井彌之助は、社長である松永安左工門の下で働き、東北電力を辞めた後、松永安左工門が設立した電力中央研究所に迎えられた。平井彌之助は結果責任を問われる技術者として、自分自身の判断で責任を果たすという使命感と松永安左工門の哲学、技術思想に基づいて対策を行った。すなわち、女川原子力発電所建設工事において、従来の法律・技術基準・安全基準から脱出し、最新の技術的知見を反映し、法令基準以上の対策を行い、結果として、非常用発電機への直撃を回避することができたのである。

このように、女川原子力発電所建設工事は、松永安左工門の哲学、技術思想が、脈々として受け継がれていた技術思想の伝承の成功例の一つであるといえる。

II-3-2. 福島原子力発電所アクシデントマネジメント

（特に、消火ポンプから原子炉への代替注水手段）

我が国の電力事業者によれば、原子力発電所においては、多重防護という技術思想に基づいた安全設計を行い、厳しい管理下で、建設、設置、運転を実施することにより、原子力被害のリスク低減を図るとともに、より高い安全性確保に努めてきているとされている⁶⁵。

⁶⁴ 田岡直規「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」、技術倫理研究第8号名古屋工業大学 技術倫理研究会編，pp.26, 2011.12.5

⁶⁵ 東京電力「柏崎刈羽原子力発電所のアクシデントマネジメント整備報告書」,pp.1,

1992年5月、原子力安全委員会が「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントについて」を決定し、電力事業者に対し、効果的なアクシデントマネジメントの自主的整備等を強く奨励する見解が示された。また、同年7月には、通商産業省(現経済産業省)が、電力事業者に、規制的措置を要求するものではないとした上で、自主的な保安措置としてアクシデントマネジメントの整備を強く要望した【東 p. 39-40】¹⁾。

これを受けて、東京電力では、福島第一原子力発電所を含む国内の全プラントに、国内外での種々の事故・トラブル事例等からの知見を反映した。さらに、国内の全プラントにスリーマイル島原発事故やチェルノブイリ原発事故を契機として、より高い安全性確保のための対策として、1994年から2002年にかけてアクシデントマネジメント策を整備した【東 p. 39-40】。

アクシデントマネジメントとは、「設計基準事象を超え、炉心が大きく損傷するおそれのある事態が万一発生したとしても、現在の設計に含まれる安全余裕や安全設計上想定した本来の機能以外にも期待し得る機能又はそうした事態に備えて新規に設置した機器等を有効に活用することによって、それがシビアアクシデントに拡大するのを防止するため、若しくはシビアアクシデントに拡大した場合にもその影響を緩和するために採られる措置を言う」⁶⁶⁾。

また、シビアアクシデントとは、「設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な炉心の冷却又は反応度の制御が出来ない状態であり、その結果、炉心の重大な損傷に至る事象(シビアアクシデントの重大さは、その損傷の程度や格納施設の健全性の喪失の程度による)」¹⁹⁾とされている。

アクシデントマネジメントについては、電力事業者により自主的に、国の確認、評価を受け、進められている。原子力規制委員会によれば、アクシデントマネジメント整備の基本的な考え方は、以下の通りである【東 p. 40】。

- (1)原子炉施設の安全性は、現行の安全規制のもとで、設計、建設、運転の各段階において、①異常の発生防止、②異常の拡大防止と事故への発展防止、③

2002

⁶⁶⁾ 東京電力「柏崎刈羽原原子力発電所のアクシデントマネジメント整備報告書」,pp.21, 2002

放射性物質の異常放出の防止，といういわゆる多重防護の思想に基づき，厳しい安全確保対策を行うことによって十分確保されている。

- (2) 従って，シビアアクシデントは，工学的には現実に発生の可能性は十分に低いものとなっており，原子炉施設のリスクも十分に低くなっている。
- (3) アクシデントマネジメントの整備により，この低リスクを一層低減すると考えられる。
- (4) 従って，原子炉設置者において効果的なアクシデントマネジメントを自主的に整備し，万一の場合，的確に実施できるようにすることは強く推奨されるべきである。
- (5) アクシデントマネジメントの実施を想定することにより，リスクが効果的に減少する限りにおいて，その実施が推奨又は期待されるべきである。

1994年3月，東京電力は，自社の原子力発電所各号機のアクシデントマネジメント整備について，検討結果を通商産業省（現経済産業省）に報告した。安全性をさらに向上させる上で検討すべき機能として，①代替注水手段（復水補給水系，消火ポンプから原子炉へ注水できる構成），②格納容器の除熱手段（耐圧強化ベント），③電源供給手段（隣接プラントからの電源融通）等を摘出した。このうち，「代替注水手段」とは，「既設の復水補給水系及び消火系を有効活用するという主旨で，これらの系統から残留熱除去系を介して原子炉へ注水できるように配管接続等を変更し，代替注水設備として利用可能にすることで，原子炉への注水機能を向上させるものである」⁶⁷。

1994年10月，通商産業省（現経済産業省）は電力事業者が提案し，報告したアクシデントマネジメント策を妥当と判断して，原子力安全委員会に報告した。さらに，1995年12月，原子力安全委員会は通商産業省（現経済産業省）からの報告（電力事業者のアクシデントマネジメント策は妥当）を妥当と判断した。

その後，東京電力を含む電力事業者は，設備改造等のアクシデントマネジメント整備を実施し，整備後の2002年5月に整備状況とその有効性評価について，原子力安全・保安院に報告した。そして，原子力安全・保安院は事業者の報告を妥当と判断し，原子力安全委員会に報告した⁶⁸。

2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所の事故において，アクシデントマネジメントへの対応として，消防車が配備，配置された。これは，原子力

⁶⁷ 東京電力「柏崎刈羽原原子力発電所のアクシデントマネジメント整備報告書」,pp.21, 2002

⁶⁸ 東京電力「福島原子力事故調査報告書（中間報告書 別冊）」 pp.8, 2011.12.2

プラントに設置された各ポンプが相次いで使用不能となったにもかかわらず、消防車の消化ポンプを原子炉への唯一の注水手段として 事態の安定化に大いに貢献した¹²⁾。

このように、原子力発電所は多重防護により絶対安全のため事後対策は不要という誤った技術思想を見直した。そして、原子力安全委員会、通商産業省（現経済産業省）の要請に基づいたアクシデントマネジメントを取り入れ、事後対策とする技術思想に移行した。

これまで、福島第一原子力発電所は技術思想の失敗事例として位置付けてきたが、こうして、あらかじめ配備された消防車の消火ポンプを原子炉への代替注水手段として常備、伝承し続けた福島原子力発電所における「アクシデントマネジメント」に関してだけは技術思想の伝承の成功例であるといえる。

II-4. 技術思想を正しく伝承するために

以上の技術思想の伝承の成功事例と失敗事例を踏まえて、技術思想を正しく伝承するために、以下を提案する。

(1) 技術思想伝承の失敗 2 事例と成功 2 事例の計 4 事例を踏まえ、科学技術を、設計、開発、設置、導入、維持管理する場合、その安全基準、技術基準をはじめ、技術の背景となる技術思想は、十分な考察や検証を行う。特に、六本木ヒルズ回転ドア事故、福島第一原子力発電所事故を踏まえ、海外製品を導入するにあたっては、日本固有での設置環境を考慮し、海外仕様品を、適切な日本仕様品として導入するための安全基準や技術基準を作成し、安全性評価、リスク評価を十分に行う。

(2) 六本木ヒルズ回転ドア事故を踏まえ、その分野に精通している人ならだれもが、言葉にしなくても経験を通じて暗黙のうちに身につけている「暗黙の知識」を文章化、明確化し確実に身に付け、後世の関係者に伝承する。さらに、4 事例をはじめ技術思想に関する事例をデータベース化して、大学教育や工学教育において具体的な技術手段として常備、伝承し続ける。

(3) 女川原子力発電所建設工事、福島原子力発電所アクシデントマネジメントを踏まえ、規格や基準の策定は、安全性と経済合理性を勘案しながら実施されるが、時代の流れの中で、諸学問が進歩し、規格・基準を策定した際の前提条件等が変化しつつある中で、規格・基準に慣れてしまい、それを守るべき最低限の規範として固執するという態度をあらためる。想定外を想定し、絶対安全という安全神話依存から脱して、絶えず技術思想を見直し続ける。

(4) 学生，技術者に，以下の工学教育，技術者教育を実施する²⁰⁾。

(a) 知識：正確な技術思想の知識

技術思想の伝承の成功例と失敗例等から，正確な技術思想の知識を理解する。

(b) 態度：技術思想を適切に変更設定する姿勢

常に各導入技術についての技術思想を理解し，状況に応じ適切に変更設定しようとする姿勢を修得する。

(c) スキル：科学技術コミュニケーション能力

正確な技術思想を理解し，適切に変更設定し，関係者に伝える科学技術コミュニケーション能力を修得する。

表 2-1 技術思想伝承の成功例と失敗例：事故原因と対策

	項目	事故原因	対策
2	技術思想の伝承	① 技術思想の未伝承	① 技術思想の伝承

第Ⅲ章 不確実性下の科学技術の事例分析

Ⅲ-1. 科学技術の不確実性とは

近年の科学技術のうち、特に1828年フリードリヒ・ヴェーラーの尿素の合成に端を発する有機合成化学の発展は、特に新しい工業製品や薬の開発等に大きな貢献をし、多くの科学技術の「正の効果」をもたらした。人類が発見・発明した化学物質（有機無機を問わず）は2億種以上に及び、そのうち10万種程度が商品化されていると言われている⁶⁹。元来、化学物質は人間や動物の健康に大きな影響を与えるものであるが、その正の効果の反面、副産物や負の効果について事前に漏れなく正確に予見することは極めて困難である⁷⁰。

四大公害病の一つで公害病の原点となった水俣病やイタイイタイ病は、当時の、大規模化学プラントという科学技術による生成品に付随して発生した技術的災害の事例であり、不確実性下の科学技術という観点から事例分析を行うのが適切であろう。

有機合成化学や化学物質に関して、水俣病、イタイイタイ病には、当時の科学的知見では解決できない、常に科学技術研究において未知の部分が含まれていた。そして、その未知の部分の解明が時々刻々と進められて、科学的知識が常に現在進行形で知識形成が進められているといういわゆる作動中の科学³⁰²の典型的な事例である。また、このように、「科学技術の知識の状態としては、自然現象や社会動態の科学的分析結果に、断言のできない内容が含まれている状態を「科学技術の不確実性」⁷¹という。

科学者、技術者は多くの場合、科学技術の不確実性下で意思決定を迫られている。

Ⅲ-2 水俣病対策

Ⅲ-2-1. 水俣病の概要

科学技術の大きな負の効果をもたらした水俣病は、1956年に熊本県水俣市に

⁶⁹ 化学情報協会：Web ページ, <https://www.jaici.or.jp/> 参照日：2020-2-20

⁷⁰ 田岡直規「現代の科学技術における技術者倫理」, 技術士 2011.3, pp.4-7,

⁷¹ 藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」, 東京大学出版会, pp.259-265, 2005

において患者が公式確認されてから、1968年に政府が原因物質を確定し、水俣病を公害病と認める統一見解の発表までに、実に12年の歳月を要した。

有機水銀に汚染された水俣湾産の魚介類の長期的かつ大量の摂取により、手足の震え、歩行障害、運動障害、言語障害、をもたらし、さらに死亡に至ることがある中毒性中枢神経疾患を引き起こした。そして、行政や企業の経営者、さらに研究者、技術者の対応が遅れ、公害病の原点となった⁷²。

1956年5月1日に、チッソ（当時 新日本窒素肥料）水俣工場附属病院は水俣保健所に「類例のない奇病」を届け出た。これが水俣病の公式確認の日となった⁷³。

チッソは、オクタノールの原料となるアセトアルデヒド（ CH_3CHO ）の製造を開始していた。因みに、オクタノールは塩化ビニールの可塑剤の原料である。塩化ビニールに、この可塑剤を用いることによって堅いパイプから柔らかいビニールシートまで様々な固さの製品を生み出していた⁷⁴。

このように、チッソはアセトアルデヒド製造という新しい化学プロセスを開発・導入し、公的な認可を受けて正常かつ定常的な運転を行っていた。その認可手続きは合法で、当時における「世界最高の科学技術水準」を以ってしても、水俣病の発生は想定外であり、事前に被害を予見することは不可能であったと考えられる⁷⁵。

1959年7月、熊本大学水俣病研究班は、原因物質は有機水銀だという発表を行った。さらに、1959年厚生省食品衛生調査会は、「水俣病の主原因は水俣湾周辺の魚介類に含まれる有機水銀化合物」と厚生大臣に答申した⁷⁶。

また、水俣病発生後、早い段階で「有機水銀が原因物質ではないか」とチッソの技術者が直感していた⁷⁷が、当時の企業経営者や行政を納得させるに至らなかった。このため魚介類を摂取した人の被害と有機水銀との因果関係の解明が行

⁷² 杉山滋郎「水俣病事例における行政と科学者とメディアの相互作用」、藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会、2005、pp.3-20

⁷³ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後50年その時日本は」第3巻）、日本放送出版協会、pp.75

⁷⁴ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後50年その時日本は」第3巻）、日本放送出版協会、pp.59-60

⁷⁵ 田岡直規「現代の科学技術における技術者倫理」、技術士 2011.3、pp.4-7

⁷⁶ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後50年その時日本は」第3巻）、日本放送出版協会、pp.162

⁷⁷ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後50年その時日本は」第3巻）、日本放送出版協会、pp.111

われるまで、何の対策もとられず、被害は拡大していった。また、統計的にも、水俣湾の魚介類やチッソ工場からの排水が発生源ではないかと広く疑われていたにもかかわらず、行政は原因が究明されるまで、漁獲禁止やチッソ工場の排水停止や操業停止の指導、対策を行わなかった。また、チッソの経営者は、社会から発生源と疑われていた工場排水の処理改善策に着手せず、更に企業、大学の研究者、技術者は原因究明のみに従事し、被害拡大防止、被害者救済に有効な提案を行わなかった⁷⁸。

政府が水俣病と工場排水に含まれる有機水銀化合物との因果関係を認める統一見解を発表したのは、1968年であり、水俣病の公式確認からすでに12年が経過していた。

このように、水俣病は、専門家による発生源と原因物質の特定、さらに行政の政策決定に12年を要した。そしてその間に水俣湾の汚染、被害者が拡大し、ついには第二水俣病の発生につながったのである⁷⁹。

このように、水俣病については、設計、開発、設置、導入にあたり、当時における「世界最高の科学技術水準」を以ってしても事前に被害を予見することは不可能であったと考えられ、むしろ水俣病発生後の、原因究明、被害拡大防止対策、早期解決というプロセスに焦点をあてて分析を行う。

III-2-2. 水俣病の被害拡大防止と早期解決ができなかった原因

水俣病が発生し、被害が拡大した原因は、国の行政や「御用学者」と呼ばれるに至った一部の医学者、企業経営者等の問題も大きいですが、ここでは、技術的要因に焦点を当てる。

水俣病は、工場排水に含まれる有機水銀に汚染された水俣湾産の魚介類の長期的かつ大量の摂取が直接的原因であるが、水俣病発生後の、原因究明、被害拡大防止対策、早期解決というプロセスでは、それ以外の要因も指摘されておりこの技術的災害発生時の、①法律・技術基準・安全基準：適用すべき法律の選択、という観点から、また技術的災害発生時、発生後の、②科学的対応方法：科学的根拠の選択、③リテラシー、という観点から、技術的災害の対策の分析を行う。

(1) 法律・技術基準・安全基準：適用すべき法律の選択誤り（民法による対応）

⁷⁸ 田岡直規「現代の科学技術における技術者倫理」,技術士 2011.3,pp.4-7

⁷⁹ 田岡直規「現代の科学技術における技術者倫理」,技術士 2011.3,pp.4-7

水俣病の裁判においては、過失責任賠償を定めた民法に基づいて争われた。

すなわち、民法 709 条「故意又は過失によって他人の権利又は法律上保護される利益を侵害した者は、これによって生じた損害を賠償する責任を負う」というものである。

民法では、被害者が民法の規定によって損害賠償を請求するためには、損害の発生、原因行為と結果発生との間の因果関係、違法性および加害者の故意または過失を立証しなければならない。しかし、被害者によるこの過失の立証には、それを立証する膨大な資料が必要とされ極めて困難である⁸⁰。一方、チッソの経営者は、社会から発生源と疑われていた工場排水の処理改善対策に着手せず、更に企業、大学の研究者、技術者達は原因究明のみに従事し、被害拡大防止、被害者救済に有効な提案を行わなかった。政府が水俣病と工場排水に含まれる有機水銀化合物との因果関係を認める統一見解を発表したのは、1968 年であり、水俣病の公式確認からすでに 12 年が経過していた。

「チッソ・水俣」関連年表⁸¹によれば、この間の経緯が以下記載されている。

1959 年 7 月 22 日	熊本大学研究班「水俣病の原因物質有機水銀」と発表
8 月 5 日	チッソ熊本県議会水俣病対策特別委員会で有機水銀説に反論
9 月 29 日	日本化学工業協会大島竹治理事、有機水銀説を否定、「爆薬説」を発表
11 月 12 日	厚生省食品衛生調査会、「水俣病の原因はある種の有機水銀化合物」と答申
1960 年 2 月	関係省庁・学者による水俣病総合調査研究連絡協議会発足
1968 年 5 月	水俣工場、アセトアルデヒド製造設備稼働停止
9 月	政府、公式見解を発表し、水俣病は水俣工場の排水が原因と断定

このように、水俣病は、専門家による発生源と原因物質の特定、さらに行政の政策決定に 12 年を要し、早期解決に至らなかった。そしてその間に水俣湾の汚染、被害者が拡大し、ついには第二水俣病の発生につながったのである。

⁸⁰ 梶雅範「イタイイタイ病問題解決にみる専門家と市民の役割」、藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会、2005 年、pp.21-42

⁸¹ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後 50 年その時日本は」第 3 巻）、日本放送出版協会、pp.214-215

医学者の津田敏秀は「水俣における水俣病患者の発見から 1 年足らずで、疾患の要因となる海中生物の有毒化までが明らかとなった。この時点で食品衛生法の適応により、魚介類の採取の禁止をすれば被害の拡大を防ぐことが出来たにもかかわらず、熊本県および厚生省はこれを行わなかった」⁸²と指摘している。このように、水俣病の被害拡大防止と早期解決ができなかった原因の 1 つとして、適用すべき法律の選択誤り、が挙げられる。

(2) 科学的対応方法：科学的根拠の選択誤り

水俣湾の魚が浮き上ったり、周辺住民の健康被害が頻繁に発生したり、環境は確実に危険の兆候を社会に送り続け、人の健康や環境に対し深刻で不可逆なリスクがあると予想された。それにもかかわらず、国は、従来の法律、技術基準、安全基準のみを踏襲し、一方チッソは、科学的な立証方法として、「科学的に未解明の部分があったり、確定的なことが分からないと、発生源、原因物質と被害の因果関係が解明されてからしか対策を講じない、それ以外の予防的な対策等を講じない」という姿勢を貫き続けた⁸³。

チッソはアセトアルデヒドの生産過程で無機水銀を使用していたが、無機水銀は有機水銀には変化しないということが当時の技術者の常識であった。しかし、当時の最新の技術的知見として、アセトアルデヒドの生成過程で、中間体として有機水銀ができるというのが、アセトアルデヒドの生成や研究に関わった技術者間で知られつつあった⁸⁴。しかし、チッソは「科学的に未解明の部分がある。確定的なことがわからない」として、水俣病の発生地域はチッソ水俣工場の工場排水が排出される水俣湾周辺に限定されるというデータに疫学的手法を適用すれば結論を出すことができたのに、疫学的手法を適用しなかった。水俣病の被害拡大防止と早期解決ができなかった原因の一つとして、科学的対応方法：科学的根拠の選択誤りが挙げられる。

(3) リテラシー：技術者の社会リテラシーの欠如と公衆との科学技術コミュニケーション不足

⁸² 津田敏秀「医学者は公害事件で何をしてきたのか」岩波書店、2014、pp.57 - 91

⁸³ 杉山滋郎「水俣病事例における行政と科学者とメディアの相互作用」、藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会、2005、pp.15

⁸⁴ NHK スペシャル/NHK 取材班、1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」（「戦後 50 年その時日本は」第 3 巻）、日本放送出版協会、pp.113

公衆は特に、科学技術の不確実性に対して、十分な科学技術リテラシーを有していない。一方、技術者、研究者も特に不確実性があり、予測が容易でない科学技術については、その不確実性や、内容が書き換えられることに対して、公衆が理解できるように説明するという社会リテラシーに欠如していたのである。

1949年にチッソに入社した技術者塩出忠次は、入社早々アセトアルデヒドの実験を担当した。実験の際、母液にアセチレンを吹き込むと母液は白く濁り、間もなく透明に戻り、また白く濁ることに気づいた。文献では、アセトアルデヒドが生成されるときに中間体として、有機水銀が生成されることが報告されている。塩出はこの白い濁りは有機水銀化合物と推定した。また、その現象はアセトアルデヒド実験や製造を担当した多くの技術者が知っているという⁸⁵。不確実ではあるが、中間体として反応途中で一時発生しやがて分解するが、様々な副産物と反応し、残存する可能性も十分にあるとも判断できる。技術部幹部や同僚の技術者にも相談したが、その不確実な事実について、真剣には相手にされなかった⁸⁶。その後、塩出は、正式に政府が水俣病と工場排水に含まれる有機水銀化合物との因果関係を認める統一見解を発表する1968年までは、公衆はもちろん社内でも公にはしなかった⁸⁷。

また、チッソ水俣工場附属病院の医師で研究者の細川一は、水俣病の原因と疑われている工場廃液が果たして水俣病の原因かを早く知りたいたと、その廃液を猫に与えるという実験を実施した。工場からの廃液を一日に2ccずつ餌にかけて猫に与えた。1956年10月6日に通し番号400の猫に水俣病によく似た、体が麻痺し回走する運動が発生した⁸⁸。

しかし、この実験結果に対し、水俣工場技術部次長の市川正は「この件は発表しないでおこう」と細川に言った。「実験例がたった一例では正しいかどうかわからない。さらに実験を重ね、正しいかどうかわかってから発表しよう」と言った。細川は結局、市川の主張を受け入れた⁸⁹。

⁸⁵ NHK スペシャル/NHK 取材班,1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」(「戦後50年その時日本は」第3巻),日本放送出版協会,pp.112-113

⁸⁶ NHK スペシャル/NHK 取材班,1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」(「戦後50年その時日本は」第3巻),日本放送出版協会,pp.113-115

⁸⁷ 杉山滋郎「科学技術と社会とのコミュニケーション」,新田孝彦・蔵田伸雄・石原孝二編

⁸⁸ NHK スペシャル/NHK 取材班,1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」(「戦後50年その時日本は」第3巻),日本放送出版協会,pp.127-130

⁸⁹ NHK スペシャル/NHK 取材班,1995「チッソ・水俣工場技術者たちの告白」(「戦後50

そして、細川は猫 400 号の件については、その後会社を辞めてからも、水俣病裁判の証人尋問 1970 年まで公にしなかった⁹⁰。

技術者、研究者として「不確実だから公表しない」のではなく、人の健康や環境に対する深刻、かつ不可逆なリスクがあると予想される場合は、リスクの根拠が科学的に未解明であっても、また不確実性があっても、安全面では予防的な措置を講じる必要があるからこそ、公表すべきであった。

塩出による実験の知見や細川による実験結果がもし、発見の時点で公表されていれば、水俣病の展開は被害者拡大防止、早期解決の方向へと大きく進路を変えていた可能性が高い。しかし、実際は、これらの実験の知見や実験結果は技術者や研究者の専門家の中で閉じられてしまい、公衆へ伝達されなかった。

理想的には、これらの実験結果・知見について、企業内の技術者、研究者として社会に情報公開する責任がある。また、その公開方法として、①企業内での経営者に対する科学技術コミュニケーションを通じた公開方法、②社会への内部告発による公開方法、の 2 種類が考えられる。

しかし、①については、当時の企業風土の中では、企業内の技術者が経営者に、自分達の考えを十分に公開し企業を動かすという科学技術コミュニケーションを用いた社会リテラシーを発揮することはできなかつたと考えられる。

また、②については、社会への内部告発を行うには、それが実施できるための制度の整備と科学技術コミュニケーションを用いた社会リテラシーの両方が必要である。しかし、当時まだ公益通報者保護法がない中、また当時の日本固有の企業風土において、企業内の技術者が企業を飛び越えて、主体的に社会に情報公開することはできなかつたと考えられる。

このことから判断すると、技術者塩出の場合も医師細川の場合も、技術者、研究者として、特に不確実性があり、予測が容易でない作動中の科学については、その不確実性を含む内容について、積極的に、公衆に対して説明することができなかつたと考えられる。

その結果、公衆も、関係する技術者、研究者と双方向のコミュニケーションを行なえず、その不確実性のある科学技術内容についての科学技術リテラシーが欠如することになった。

年その時日本は」第 3 卷),日本放送出版協会,pp.130-133

⁹⁰ 杉山滋郎「科学技術と社会とのコミュニケーション」,新田孝彦・蔵田伸雄・石原孝二編「科学技術倫理を学ぶ人のために」世界思想社,2005 年,pp.195-221

Ⅲ-3. イタイイタイ病の原因解明と対策

Ⅲ-3-1. イタイイタイ病の概要

イタイイタイ病は、三井金属鉱業神岡鉱業所の排水中に含まれるカドミウム汚染による慢性カドミウム中毒による骨疾患である。水俣病とともに四大公害病の一つであり、1968年富山県神通川流域の水田地帯で発生した。

1905年、神通川上流の神岡鉱山で三井金属鉱業が亜鉛採掘を開始した。

亜鉛鉱石に含まれるカドミウムは、当時は十分な廃水処理をせずに神通川に流されていた。1920年代に神通川流域でイタイイタイ病の発病が認められ、1957年頃発病者が増加した。カドミウムで汚染された食物や飲料水を長期間にわたり摂取したことが原因となる。中毒患者が「痛い、痛い」と言って苦しむことから「イタイイタイ病」と名付けられた⁹¹。

「1968年3月に、患者・遺族が三井金属鉱業を相手に慰謝料を求めて、訴訟を起こした。被告は「イタイイタイ病発病のメカニズムが明らかにならないと責任は認められない」と主張したのに対し、原告は、「カドミウムが体内にどの程度吸収されて発病するかはこの際意味がない」「発病の原因がカドミウムであることが証明されさえすればよい」と主張した。イタイイタイ病では、発病のメカニズムまで解明する必要はなく、原因が三井金属鉱山神岡鉱業所からの排水中に含まれるカドミウムであることが分かりさえすればよいという判決が下された⁹²。

1971年6月30日、富山地方裁判所で、四大公害訴訟の先陣を切って、被害者の全面勝訴の判決が下された。1972年8月9日名古屋高等裁判所は三井金属鉱業の控訴を棄却した。

三井金属鉱業は、損害賠償金の支払い、農業被害の賠償と汚染土壌の復元義務、住民の立ち入り調査権を認めた公害防止協定書の締結の3点を内容とする和解に応じることとなった⁹³。

Ⅲ-3-2. イタイイタイ病の被害拡大防止と早期解決が可能となった理由

イタイイタイ病では、水俣病を教訓とし、作動中の科学ではリスクのメカニズ

⁹¹ 松波淳一「イタイイタイ病の記憶」,桂書房, pp.2-8, 2002年

⁹² 松波淳一「イタイイタイ病の記憶」,桂書房, pp.151-152, 2002年

⁹³ 松波淳一「イタイイタイ病の記憶」,桂書房, pp.175-178, 2002年

ムが科学的に解明されていなくても、発生源と被害のメカニズムが解明されてから行政としての対応したのでは遅すぎると判断した。研究者で地元開業医師の萩野昇、カドミウム説を主張した同朋大学教授の吉岡金市と岡山大学教授の小林純、弁護士の島林樹、公衆でイタイイタイ病対策協議会（被害者団体）会長の小松義久の呼びかけで集まった地元住民 28 名が相互にコミュニケーションを行い、安全面で予防的な対策を講じ、被害拡大防止と早期に解決した成功事例である。

その被害拡大防止と早期解決に成功した理由を、①従来の法律、技術基準、安全基準の踏襲からの脱却、②科学的対応方法：科学的根拠の選択、③技術者の社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーション、という観点から分析する。

(1) 従来の法律・技術基準・安全基準の踏襲からの脱却：適用すべき法律の選択
（民法から鉱業法への視点への転換）

水俣病裁判では過失責任賠償を定めた民法に基づいて争われた。これに対しイタイイタイ病裁判では、無過失賠償責任規定に基づく鉱害賠償制度を定めた鉱業法に基づいて争われた。

民法においては、被害者が加害者に損害賠償を請求するためには、損害が発生したこと、加害行為と被害発生との間の因果関係、違法性および加害者の故意または過失を立証しなければならないが、鉱業法では、このうち加害者の故意または過失を立証する必要はない。鉱業法 109 条の無過失賠償責任規定は、救済被害に種類の限定を設けないというもので、加害行為も排出物質の種類に関わらず「鉱物の採掘のための土地と掘削、坑水もしくは排水の放流、捨石もしくは鉱さいの堆積又は鉱煙の排出によって他人に損害を与えたときは」と定義されており、鉱物の採掘として鉱業権者の事業活動によって生じた損害すべてを対象とすることができる⁹⁴。

すなわち、従来の民法の踏襲から脱することで、イタイイタイ病では、故意または過失を立証する必要はないという鉱業法に基づく対応が可能になった。

(2) 科学的対応方法：科学的根拠の選択（疫学的手法による科学的立証）

1961 年 6 月に、萩野が第 34 回日本整形外科学会で「カドミウムがイタイイタイ

⁹⁴ 沢井裕,1973「イタイイタイ病裁判の歴史的意義」,イタイイタイ病訴訟弁護団編「イタイイタイ病裁判 第四巻 判決 資料」総合図書, pp.350-360

イ病の発症に関係する。カドミウムを多く含む川の水や米を飲食することで起こる症状である。このカドミウムは、神通川上流の神岡鉱業所の廃水として流したものである。」と発表した⁹⁵。

イタイイタイ病の発生地域は、神通川を中心として同河川に注ぐ東方の熊野川および西方の井田川の両支流に挟まれた扇状地に局限されるため、発生原因はこの地域的局限性を説明することができるものでなければならない⁹⁶。イタイイタイ病発生地域の住民は、農業用水だけでなく、生活用水もすべて神通川の水に負っている⁹⁷ことから、疫学的手法に基づいた被告会社が放流した排水と被害発生との因果関係が判決でも認められた。

また裁判においても、鉱業法に基づいて原告が主張をした。イタイイタイ病発生のメカニズムまで解明する必要はなく、イタイイタイ病の発病の原因が三井金属鉱山神岡鉱業所からの排水中のカドミウムであることが分かりさえすればよいという判断を、研究者、専門家、公衆が相互に確認、提案し、判決でも採用された⁹⁸。

このように、イタイイタイ病は、水俣病の事例を教訓として、科学的不確実性が残っていても、発生源と被害の因果関係や発生のメカニズムが完全に解明されるまで待つて行政として対策をしたのでは遅すぎると判断し、対策を先取りした⁹⁹。すなわち、イタイイタイ病では、水俣病のケースとは異なり、そのときの最新の科学的知見に基づいて安全面で予防的な対応をし、かつ科学的解明も並行して続ける、という対策¹⁰⁰により、被害拡大防止と早期解決をもたらした。

(3)イタイイタイ病における技術者の社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーション

1966年11月、母をイタイイタイ病で亡くした地元農家の小松義久は、イタイイタイ病対策協議会（被害者団体）会長に就任した。1967年6月に島林弁護士

⁹⁵ 松波淳一「イタイイタイ病の記憶」,桂書房, pp.17-23, 2002年

⁹⁶ イタイイタイ病訴訟弁護団編, 1973「イタイイタイ病裁判 第四巻 判決 資料」総合図書, pp.87

⁹⁷ イタイイタイ病訴訟弁護団編, 1973「イタイイタイ病裁判 第四巻 判決 資料」総合図書, pp.93

⁹⁸ 松波淳一「イタイイタイ病の記憶」,桂書房, 2002年, pp.151-152

⁹⁹ 梶雅範「イタイイタイ病問題解決にみる専門家と市民の役割」,藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」,東京大学出版会,2005年,pp.21-42

¹⁰⁰ 橋本道夫「私史環境行政」,朝日新聞社,1988年,pp.136-

が小松を訪問した。1967年12月、小松の呼びかけで集まった住民と島林が裁判で戦おうと合意し、島林は、全国から青年弁護士20名を無償で集めた。

裁判の過程で、地元農家の小松の呼びかけで集まった周辺住民20名、萩野をはじめとし、吉岡、小林らの研究者、島林をはじめとして全国から集まった若手弁護士20名が、現場検証をはじめとする科学的調査活動を協同で実施した¹⁰¹。

特に、吉岡は農水害問題の権威として知られており、1960年8月には、農業被害の原因究明の依頼」を神通川鉍毒対策婦中町地区協議会から受け、さらにイタイタイ病の原因究明を依頼された。

また、小林は水質関係の研究で知られており、1943年に農林省技官として、富山県の求めで神岡鉍山の調査に出かけたこともあった。

このような状況下で、1967年6月13日には、富山県社会保障推進協議会が主催した「イタイタイ病追及富山県集会」で、小松や労組関係者約百名が参加する中、小林と萩野はイタイタイ病は、鉍山廃液中に含まれるカドミウムが原因であるという講演を行った¹⁰²。また、講演後小林は、神通川沿岸の水や泥を分析資料として採取することへの協力を求めた。そして、翌日、萩野、小松、地元農家でイタイタイ病対策協議会副会長の高木良信をはじめとする30名余りの地元住民が神通川沿岸の水や泥の採取のため小林に同行した。そして、小林と萩野は、地元住民の案内のもと、神岡鉍山の上流と廃液沈殿ダム、戦時中に廃液をためていたという工場西側の谷などで川の水や泥を採取するなどの調査活動を協同で実施した。その後地元住民は神岡鉍山に出掛けて補償要求を行ったが、その翌日の6月15日にも、イタイタイ病対策協議会は萩野と小林を招いて講演会を開き、裏付け資料の収集や今後の補償要求の仕方について、意見交換が実施された¹⁰³。

このように、吉岡、小林らの研究者、専門家と地元住民は、調査活動や意見交換を協同で実施することにより、お互いに協力関係、信頼関係を構築していった。さらに、技術者、研究者にとって、公衆が理解できるように説明するという社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーションによりイタイタイ病の原因究明につながった。

1971年6月30日、富山地方裁判所において被害者が全面勝訴し、1972年8月9日名古屋高等裁判所における三井金属鉍業の控訴棄却された。

¹⁰¹ 松波淳一「イタイタイ病の記憶」,桂書房,2002年,pp.70-94

¹⁰² 富山新聞1967年6月14日

¹⁰³ 富山新聞1967年6月15日

Ⅲ-4. 不確実性下の科学技術において被害拡大を防止し早期解決をもたらすために

以上の成功事例（イタイイタイ病）と失敗事例（水俣病）を踏まえて、「表 3 水俣病対策とイタイイタイ病対策との比較」に基づき不確実性下の科学技術における被害拡大防止と早期解決のために、以下を提案する。

(1) 従来法律・技術基準・安全基準に固執しない。

法律や安全基準は過去の経験や経済性等を考慮したある水準を守ることを義務付けるものにすぎない。従って、法律や安全基準を遵守するだけでは、想定内での安全確保ができたとしても想定外の事象を含めて、特に作動中の科学に対しては、絶対安全というわけではない。

すなわち、不確実性があり、予測が容易でない作動中の科学のリスクに対して、国の認可や法律、安全基準だけでは、事前にリスクやそれに伴う連鎖反応的な負の効果を防ぐことはできないのである。

このような場合には、従来法律・技術基準・安全基準に固執をせずに、最新の技術的知見や予防的対応を行うことが必要である。

(2) 科学的検証方法の改善

①科学的検証方法については、発生源、原因物質と被害の因果メカニズムの解明・立証にとられることなく、状況に応じて疫学的手法による因果関係の推定なども、視野に進める。

②作動中の科学、不確実性下においては、従来法律、技術基準、安全基準にタイムリーに最新の技術的知見を反映させるとともに、予防的対応を実施することが必要である。

(3) 技術者の社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーション

①技術者と公衆が日頃から、技術課題を設定した技術者・市民討論会を開催し、相互の対話、協働での調査活動を行なう。

このような活動を通じて、技術者は公衆の懸念・ニーズについて理解し、社会リテラシーを向上することが必要である。

②テクノロジーカフェやサイエンスカフェを開催し、身近な科学技術の仕組みやリスクについて、技術者から公衆へ科学技術リテラシーを伝達する。向上のため科学技術コミュニケーションスキルを向上させることが必要である。

表 3-1 不確実性下の科学技術の事例分析：対策
 (水俣病対策とイタイイタイ病対策の比較)

	項目	水俣病対策	イタイイタイ病対策
1	法律, 技術基準, 安全基準	① 従来の法律, 技術基準, 安全基準の踏襲: 適用すべき法律の選択誤り(民法 709 条過失責任による対応) (a) 加害行為と被害発生との因果関係の立証が必要 (b) 違法性及び加害者の故意または過失の立証が必要	① 従来の法律・技術基準・安全基準の踏襲からの脱却: 適用すべき法律の選択(鉱業法 109 条無過失責任の視点への転換) (a) 鉱業権者の事業活動によって生じた損害全てを対象 (b) 故意・過失を立証する必要はない
2	科学的対応方法: 科学的根拠の選択	①科学的根拠の選択誤り ・従来手法(発生源, 原因物質と被害の因果メカニズムの解明・立証)の適用	①科学的根拠の選択(疫学的手法(原因と結果の関係性を数量分析)による科学的立証)
3	リテラシー	①技術者の社会リテラシーの欠如と公衆との科学技術コミュニケーション不足	①技術者の社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーション

第IV章. 事例分析から導かれる技術者に求められる能力

IV-1. 事例分析から明らかになった事故原因と対策

以上, 第I章から第III章で行った事例分析を総合すると, 「表 4-1 事例分析から明らかになった事故・被害拡大の原因と対策」に集約することができる.

表 4-1 事例分析から明らかになった事故・被害拡大の原因と対策

	項目	事故・被害拡大の原因	対策
1	リスクの認識	①安全神話依存 ②リスク認識誤り ③中枢部多重防護システム依存 ④米国からの導入技術への盲信,	①安全神話からの脱出 ②リスク認識力, リスク対応力の向上 ③システム依存からの脱出. 周辺部も含めた安全管理への移行 ④米国からの導入技術への盲信からの脱出
2	技術思想の伝承	①技術思想の未伝承	①技術思想の伝承
3	法律, 技術基準, 安全基準	①従来 of 法律, 技術基準, 安全基準の踏襲 ②従来 of 科学的対応方法の適用	①従来 of 法律・技術基準・安全基準の踏襲からの脱却 ②従来と異なる科学的対応方法の適用
4	非常用装置の使用	①事故時の非常用装置作動誤認	①非常用装置の作動理解と日常訓練
5	リテラシー	①技術者の社会リテラシーの欠如と公衆との科学技術コミュニケーション不足	①技術者の社会リテラシーの向上と公衆との科学技術コミュニケーション実施

IV-2 リスク評価

次に、以上の事例分析で取り出された技術事故の原因と対策の類型に基づきどのような能力が技術者に求められるかを考察していく。(a) 態度, (b) 知識, (c) スキル, の観点から分析を進める。

(1) 安全神話から脱出する能力

(a) 態度：本当に安全ということを実際に確認する姿勢

安全神話とは、根拠が明確でないにも関わらず「絶対安全である」と多くの人に考えられていることである。

安全神話については、まず、「絶対安全というのは本当か」を疑うという態度が必要である。次にその根拠を確かめるという態度が必要である。

安全神話の根拠、技術的内容について、三現主義に基づいて、実際に自分で現場・現物・現実を確認し、安全を確認する態度が必要である。

そもそも、三現主義とは、現場・現物・現実の3つの「現」を重視し、机上ではなく、実際に現場で現物を観察して、現実を認識した上で、課題の解決を図るという考え方のことである¹⁰⁴。

この三現主義は「JIT (Just In Time) 生産システム」という、「生産過程において、各工程に必要な物を、必要な時に、必要な量だけ供給することで在庫（あるいは経費）を徹底的に減らして生産活動を行う技術体系（生産技術）に由来する¹⁰³。例えば、国内においては、トヨタの豊田章一郎がJIT生産方式を自社に取り入れた事例がよく知られており、三現主義は、JITの考え方の「3現3即3徹」（現場・現実・現物で3現、即時・即座・即応で3即、徹頭・徹尾・徹底で3徹）に由来する¹⁰⁵。

また、トヨタの他にも、ホンダが三現主義を掲げてモノづくりを行っていることがよく知られており、花王、セブン・イレブン、P&Gなどの企業でも、経営幹部により、現場第一線の社員と共同で課題解決に取り組むという、三現主義に基づいた活動を実践している¹⁰⁶。

¹⁰⁴ 野村総合研究所 NRI：Web ページ、

<https://www.nri.com/jp/knowledge/glossary/lst/sa/3rp>, 参照日：2022-5-24

¹⁰⁵ 藤井春雄『よくわかる「ジャスト・イン・タイム」の本』日刊工業新聞社、2009年、p.7

¹⁰⁶ 野村総合研究所 NRI：Web ページ、

<https://www.nri.com/jp/knowledge/glossary/lst/sa/3rp> , 参照日：2022-5-24

現代では情報技術の急速な発展により、科学者や技術者は膨大な情報やデータを短時間に収集・解析・活用することが可能となり、その結果、解析結果を容易に把握することが可能となった。その一方、科学者や技術者は現場で現物や現実を自分の目で実際に確認し自分で判断することをせずに、机上のデータと情報で、現場で起こっていることを確認、認識したと錯覚し、誤った判断をしてしまうケースも発生しうるのが現状である。そのため、三現主義に基づき、本当に安全かを疑うという態度、同時に本当に安全ということを実際に確認する態度が必要である。

(b) 知識：安全神話の実態と関連事項についての知識と理解

まず、当該技術に関わる安全神話の実態と関連事項について、以下の知識と理解が必要である。

- 1) 過去の類似の安全神話事例
- 2) 安全神話の構造と根拠とされた具体的な技術的内容

1) 過去の類似の安全神話事例

安全神話を有しながらも安全神話が覆った事例であるスリーマイル島原発事故の内容と原因、関連事項についての知識と理解が必要である。

1979年3月28日に発生した米国ペンシルバニア州のスリーマイル島原発事故は、安全確保設計・事故拡大防止設計・放射性物質放射防止設計など、中枢部では多段階で構成する当時の「多重防御」に基づく設計が行われていた。それにもかかわらず、複数のヒューマンエラーと複数の故障が複雑に絡み合うことで、事故につながってしまったという事例である¹⁰⁷。2次冷却水系で、冷却水を供給する給水ポンプが故障し停止したことが、その後の事故の発端となった。緊急炉心冷却装置（ECCS）が作動したが、1次冷却水の沸騰による冷却水の見かけ水位上昇を、運転員が冷却水過剰と思いこみ、誤判断によりECCSを停止させるというヒューマンエラーにより冷却材喪失事故（配管が破断するなどして冷却水が漏れ出し、原子炉が空焚きになる事故）となり、さらに連鎖反動的に拡大し、終には炉心損傷にまで至った事故である¹⁰⁸。

2) 安全の構造と根拠とされた具体的な技術的内容

¹⁰⁷ 札野順「技術者倫理」、放送大学教育振興会、2004年、pp.231-232

¹⁰⁸ 原子力百科事典「ATOMICA」「TMI事故直後の評価」：Webページ

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-07-04-05.html、参照日：2022-6-20

原子力発電所では、トラブル発生の未然防止を第 1 に、「人間はミスを犯す」「機械は故障する」ということを前提に、単独のヒューマンエラーや機械の故障が発生しても、安全確保されるよう設計されている。そして、仮に単独のトラブルが発生しても、トラブルの拡大防止、影響拡大防止されるように設計されている。

例えば、原子力発電所では、具体的には、次の 3 段階の安全確保設計が行われている【民 p. 34-35】。

(第 1 段階) 異常の発生を防止する

(第 2 段階) 異常が発生したとしても異常拡大を防止し事故に至るのを防ぐ

(第 3 段階) 事故に至ったとしてもその影響を少なくする

3 段階の安全確保設計の具体的な技術的内容は、以下の通りである【民 p. 34-35】。

【第 1 段階】 異常の発生を防止する。

原子力発電所で一番重要な点は、事故の原因となる異常、すなわち機器の故障や運転員の誤操作、さらに地震などの災害により「通常の運転ができない状態」を未然に防止することである。そのために安全上十分な余裕をもたせた設計を行い、厳重な品質管理、入念な点検と検査を行っている。

原子力発電所の中核部分は、放射性物質が外に漏れないように作られた、多層にもわたる物理的な障壁、具体的には燃料ペレット（第 1 の壁）、燃料被覆管（第 2 の壁）、原子炉圧力容器（第 3 の壁）、原子炉格納容器（第 4 の壁）、原子炉建屋（第 5 の壁）の 5 重の壁から構成されている【民 p. 254-255】。【国 p. 126-130】

このように信頼性の高い材質や機器を使用し、また原子力発電所の安全性に大きな影響を及ぼすものについては、「フェイル・セーフ・システム」や「インターロック・システム」を採用している。また、地震、津波等に対しては、一定の規模のものを想定し、耐震設計、防潮堤の設置などの対策が講じられている。

【第 2 段階】 異常が発生したとしても異常拡大を防止し事故に至るのを防ぐ

配管から冷却水が漏れるなどの異常状態等については、各種の自動監視装置が設置されており、異常発見時には、原子炉を緊急停止するなどの措置が講じられる。また地震発生時など緊急を要するには、原子炉へ制御棒が自動挿入され、原子炉を「止める」機能が発揮される。

さらに重要な配管が万一損傷した場合、放射性物質を含む冷却水が格納容器の外部へ漏洩しないよう「閉じ込める」機能が強化されている。

【第3段階】事故に至ったとしてもその影響を少なくする。

配管の破断により、冷却材喪失するというような事故を想定し、これに備えるために非常用炉心冷却装置 (ECCS) や格納容器スプレー系が多重に設置されている。万一の事故の際には、非常用炉心冷却装置 (ECCS) が働き、原子炉内部に一挙に大量の水が注入され、原子炉を「冷やす」しくみがとられている。

また、原子炉は密閉された原子炉格納容器の中に閉じ込められており、放射性物質を「閉じ込める」しくみがとられている。

(c) スキル：事故・故障を想定する力

以上、過去の安全神話事例に学び、その安全神話の構造、安全神話の根拠とされる具体的な技術的内容により、知識を得る。自身に関わる技術について安全神話かもしれない、本当に安全かを疑い、想定外の巨大地震・巨大津波などの事象とそれに伴う当該技術に関する事故・故障を事前に想定する力が必要である。

(2) 適切なリスク想定と対応力

(a) 態度：リスクを正しく設計・開発に生かし、伝達する姿勢

科学技術社会論学者の平川秀幸は「遺伝子組み換え作物に関する問題は、様々な社会的背景によりその評価も異なってくることから、自然科学的なリスクだけでなく、アグリビジネスの農薬支配などによる社会的リスクも考慮して、広範な立場の人々により、十分な情報公開と対話により解決されるべき問題である。」と述べている¹⁰⁹。

このことは、遺伝子組み換え作物に限らずあらゆる技術にも当てはまり、リスクにも、災害リスク、事故リスク、健康リスク、環境リスク、情報リスクなどの技術的なリスクだけではなく、政治的リスク、経済的リスク、文化的リスクなどの社会的リスクも当該技術に関するリスクと認識されている¹¹⁰。

また、科学技術に関するリスクには、技術自身が公衆や社会に与えるリスクと技術開発を危うくするリスクという二通りのリスクがある。

政治的リスクもこの二通りに分けて考えることができる。前者は例えば、当該技術が生み出した製品に外国で禁止されている成分が含まれる国際政治問題に発展するというリスクが挙げられる。また、後者として、特定の国における政情

¹⁰⁹ 平川秀幸「遺伝子組み換え作物の栽培に関する検討委員会（東京）報告の論点整理」2005.pp.49

¹¹⁰ 平川秀幸，2005，「遺伝子組換え食品規制のリスクガバナンス」藤垣裕子編『科学技術社会論の技法』東京大学出版会，pp.133-154,2005

不安や政治の混乱，重大な政策の失敗，紛争などの政治的要因により，各要素技術の素材調達に障害が発生するリスクが挙げられる。

経済的リスクにおいて今，前者は，当該技術が生み出した製品が既存の製品に代替し関連企業の経営，日本経済全体に悪影響を及ぼすリスクが挙げられる。また後者では，例えば為替変動等により，関連技術の調達費用が高騰し製品価格が高騰するリスクが挙げられる。

文化的リスクとは，例えば前者では，当該技術が，人々の行動や思考活動を制限し，結果として組織や社会の風土・文化に影響を与えるリスクが挙げられる。また，後者では，当該地域の宗教的・文化的価値により，各要素技術の構成成分の使用が制限されるリスクが挙げられる。

このように科学技術に関するリスクには多様なリスクがある。技術者は，この多様なリスクが公衆へ及ぼす影響を評価し，設計，開発に生かすとともに関係者に正しく伝えようとする姿勢が必要である。

(b) 知識：リスクの多様性を理解する力

以上，科学技術に関するリスクには，災害リスク，事故リスク，健康リスク，環境リスク，情報リスク，経済的リスク，政治的リスク，文化的リスクなど多様なリスクが存在するというリスクの多様性を理解することが必要である。また，具体的な事例，例えば(a)で述べた遺伝子組み換え作物におけるリスクの多様化事例についての知識と理解が必要である。

(c) スキル：リスク想定力と対応力

(b)に記述したような知識に基づいて，自身に関わる技術に関してどのようなリスクが存在するかを想定し，具体的に対応する力が必要である。

例えば自身に関わる科学技術に関わる災害リスク，事故リスクに対しては，発生しうる地震災害や火災事故を想定し，防災・減災訓練や消火・避難訓練を行うことにより具体的な対応力を身に付ける。

(3) システム依存からの脱出

(a) 態度：システム全体の安全性を評価・構築・管理するという姿勢

安全システムに依存するのではなく，システムの中核部分だけでなく周辺部を含めたシステム全体の安全性を評価・構築・管理を自ら行う姿勢が必要である。

(b) 知識：周辺部も含めた防護システムの理解

システム中核部の多重防護により，システムは安全と確信してしまうと，中核

部領域以外の領域の安全確保について、その内容や点検姿勢について緩みがちとなる。福島第一原発は、原子炉という中枢部分は高い安全設計であった。しかし、外部電源や非常用ディーゼル発電機という周辺部において全電源喪失によりシステム全体が機能不全に陥った。

システムの中枢部多重防護システムはもちろんのこと、それに加えて外部電源や非常用ディーゼル発電機という周辺部も含めた防護システムやその事故事例についての知識と理解が必要であった。

自身が関わる技術について、システム中枢部だけではなく、周辺部も含めた防護システムの理解が必要である。

(c) スキル：事故対応策の想定・準備と訓練

事故対応策の想定や想定可能な準備と訓練が必要である。例えば原子力発電所では、全電源喪失を想定した電源配置の多様性や注水・冷却設備の多重性、可搬式安全設備の準備による柔軟な事故対応策の整備と訓練が必要である。さらには非常時を想定したバルブの手動開閉操作による減圧作業訓練など、想定可能な準備と訓練能力が必要であった。

過去の中枢部多重防護システムやその事故事例等の知識により、自身が関わる技術についての事故対応策の想定や想定可能な準備と訓練が必要である。

(4) 海外からの導入技術への盲信から脱出する力

(a) 態度：マニュアル・基準・規格の根拠を確かめ、危険・リスクを評価する姿勢

海外からの導入技術を、国内で適用するに当たっては、その技術を盲信するのではなく、盲信から脱出するという姿勢が必要である。

例えば、海外からの導入技術を盲信した事例として、原子炉（沸騰水型軽水炉）の暴走実験を自ら実施しようとしなかったことがあげられる。すなわち、1954年7月に米国アルゴンヌ国立研究所がアイダホ州にあるアメリカ国立原子炉実験場(National Reactor Testing Site)で原子炉（沸騰水型軽水炉）の暴走実験が行われた¹¹¹。一方、日本では地理的制約等により自国では実験ができず、その実験結果を盲信せざるを得ない構造があった。ただし、その結果を分析、確認することは必要であった。そして、その結果として、福島第一原発事故で

¹¹¹ アルゴンヌ国立研究所 Web サイト上の BORAX-I 原子炉に関する記載 (archive.org により保存された 2002 年 12 月 24 日版)

のメルトダウン時では、避難や非常用装置の使用等について事後対応が遅れた。海外において想定されたマニュアル・基準・規格の根拠は盲信するのではなく、実際に国内での適用に際してその根拠を確かめ、評価する姿勢が必要である。

(b) 知識：マニュアル・基準・規格の根拠・背景・設定過程，考え方の知識と理解

米国から導入した原子炉のマニュアル・基準・規格の根拠・背景・設定過程，考え方の知識と理解が必要であった。また，(a)で述べた米国での原子炉の暴走実験の結果について，自ら分析，確認することが必要であった。

米国をはじめとする海外からの導入技術について，マニュアル・基準・規格の根拠やその背景，設定された過程，考え方について，知識と理解が必要である。

(c) スキル：海外からの導入技術を国内基準で評価する力

(b)で理解した知識に基づき，米国からの導入技術を，国内基準で評価する力が必要であった。

過去の海外からの導入技術事例等の知識により，自身に関わる技術について，海外からの導入技術を，国内で適用するに際して国内での安全基準，技術基準，知見等に基づいて評価する力が必要である。

IV-3. 技術思想の伝承

(a) 態度：技術思想を正しく伝承する姿勢

常に各導入技術についての技術思想を理解し，正しく伝承しようとする姿勢が必要である。

すなわち，科学技術を設計，開発，設置，導入，維持管理する際には当該技術の各段階において実施する普遍的な前提条件や考え方，知識としての技術思想を明確化し，正しく文章化し伝承しようとする姿勢が必要である。

(b) 知識：正確な技術思想の知識と理解

技術思想の伝承の失敗事例（六本木ヒルズ自動回転ドア事故，福島原子力発電所事故）と成功事例（女川原子力発電所建設工事，福島原子力発電所アクシデントマネジメント）から正確な技術思想の知識を理解する。

技術思想を正しく伝承するために、科学技術を、設計、開発、設置、導入、維持管理する場合、その安全基準、技術基準をはじめ、技術の背景となる技術思想については、十分な考察や検証を行い、正確な技術思想の知識を理解することが必要である。

(c) スキル：科学技術コミュニケーション能力

過去の技術思想の伝承の成功事例や失敗事例の知識により、理解した正確な技術思想を、正しく伝承し関係者に伝えるためのコミュニケーション能力が必要である。

その分野に精通している人ならだれもが、言葉にしなくても経験を通じて暗黙のうちに身につけている「暗黙の知識（暗黙知）」を文章化、明確化し確実に身に付け、後世の関係者に伝承する力を身に付けることが必要である。

そのために、技術思想に関する事例をデータベース化するなど具体的な技術手段等を身に付けることが必要である。

IV-4. 基準遵守から予見的・予防的対応へ

(a) 態度：従来法律、技術基準、安全基準の絶対視・盲信からの脱却、最新の技術的知見・予防的対応、従来と異なる科学的対応方法を取り入れ反映しようとする姿勢

巨大化・総合化・複雑化した科学技術、あるいは不確実性下の科学技術に関する従来法律、技術基準、安全基準は守るべき最低基準として遵守するのは当然である。それにとどまらず、安全性の更なる向上や、被害者保護強化のためには、従来法・基準を絶対視するのではなく、必要に応じて見直し、最新の技術的知見を取り入れ反映しようとする姿勢が必要である。また、環境に重大あるいは取り返しのつかない損害の恐れがあるところでは、十分な科学的確実性がなくても予防的対応を取り入れ反映しようとする従来と異なる科学的対応方法を取り入れ反映しようとする姿勢が必要である。

(b) 知識：最新の技術的知見・予防的対応、従来と異なる科学的対応理解

最新の技術的知見、予防的対応、従来と異なる科学的対応についての知識を理解する能力が必要である。

1992年の環境と開発に関する国際連合会議（UNCENGD）リオデジャネイロ宣言では、「環境を保護するため、予防的方策は、各国により、その能力に応じて広

く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的 確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きな対策を延期する理由として使われてはならない。」¹¹²という「第 15 原則 環境保護のための予防的措置の広範な適用」がまとめられている。

予防原則は従来と異なる科学的対応である。過去に予防原則を適用した事例、予防原則を適用しなかったため重大あるいは取返しのつかない損害が発生した事例、どのような場合に予防原則を適用するか、予防原則の限界に関する知識を身に付ける必要がある。

(c) スキル：最新の技術的知見・予防的対応，従来と異なる科学的対応方法を取り入れ反映する能力

(b) で得た知識を基に、具体的な事例に対し従来と異なる科学的対応方法である予防原則を適用するかどうかを判断する能力、さらに予防原則を適用する能力が必要である。

IV-5. 非常用装置及び非常時対応手順

(a) 態度：非常用装置の日常からの操作訓練姿勢

技術者は、非常用装置を適切に作動させることができるように、日常から必要な所定の現場要員に定期的に操作訓練させる機会を設定し、操作訓練しようとする姿勢が必要である。例えば、原子力発電所では、IC 等非常用装置を、必要な所定の現場要員に対し、非常時に備え定期的に年数回、適切に作動させることができるように、操作訓練しようとする姿勢が必要である。

(b) 知識：非常用装置の作動原理・作動状況の理解

技術者は、非常用装置の作動原理と非常時の作動状況についての知識と理解が必要である。例えば、原子力発電所では、IC（非常用復水器）等の非常用装置についての作動原理、非常時の作動状況についての知識と理解が必要である。

(c) スキル：非常時対応手順の技術指導能力とコミュニケーション能力

(b) の知識をもとに、技術者は、日常から必要な現場要員に対し、定期的に対

¹¹² 環境省：Web ページ，<https://www.env.go.jp/council/02policy/y020-31/mat03.pdf>，
参照日：2022-7-22

応訓練を設定する。これにより、現場要員に対し、非常時の対応手順を技術指導する能力や現場要員に適切に指示し理解させるというコミュニケーション能力を身に付ける必要である。

IV-6. 公衆の科学技術リテラシー向上

(a) 態度：科学技術に伴う危険性、リスク、問題について社会に公開し警告を 発する態度

科学技術に伴う危険性、リスク、問題について技術者以外の公衆、社会に公開し警告を発する態度が必要である。

「技術者以外の公衆」とは、当該科学技術に関わる現場作業員やユーザー、地域住民をはじめとした公衆である。

ここで、公衆の科学技術リテラシー不足に起因した事故事例を以下に記述する。

1999年9月30日、茨城県東海村のJCO東海事業所で硝酸ウラニル溶液製造中に、核反応が継続的に発生する臨界事故が発生した¹¹³。事故原因は、以下の通りである。

- ①原子炉等規制法に基づいてJCOが科学技術庁（現文部科学省）に届け出た作業とは異なる未許可の裏マニュアルを社内で通用させていた。
 - ②さらに、裏マニュアルとも異なる作業手順（臨界安全形状に設計されていない沈殿槽に、臨界量以上のウランを注入）を用いた。
 - ③現場作業員は、クルー副長（現場責任者）を含め、臨界に対する十分な教育を受けておらず、放射線や臨界の危険性や、臨界安全形状の意味も知らなかった。
- このように、JCO臨界事故においては、事故原因が技術者以外の現場作業員の原子力に関するリテラシー不足によるところが大きい。

また、この事故により、放射線が事業所外に拡散し、避難が必要となり地域住民にも影響が発生した。

次に、「猫電子レンジ事件」¹¹⁴という有名な都市伝説があるが、実際の事例として、以下の「冷蔵庫による事故死」を挙げる。

冷蔵庫は、構造上、閉鎖した時の気密性が高く、内側では酸素の供給が直ぐに絶たれてしまう。磁気による開閉方式の最近の冷蔵庫は、内側からも扉を開くこ

¹¹³ 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の概要」1999年

¹¹⁴ 米国で、あるおばあさんが、ずぶ濡れになって帰ってきた猫を乾すために電子レンジにいれ温めたところ、爆発を起こし、猫は亡くなってしまったというエピソード。

とができるが、特に、古い冷蔵庫は内側からは扉が開かない構造になっている。

日本では1967年6月15日に大阪市生野区において、業者によって空き地に放置されていた冷蔵庫で子ども3名（小学生1名と保育園児2名）が窒息死する事故が発生している¹¹⁵。

公衆が日常において、科学技術を利用するにあたり、公衆は必ずしも、設計者や開発者の意図通りに使用しないのが現実であり、そのような状況下で、公衆の安全、健康、及び福利が最優先に確保されることが必要である。

本来ならば、機器を利用する際に操作を間違えたとしても危険な状況にならないような仕組み、すなわちフルプルーフ（foolproof）を、あらかじめ組み込んで設計しておくことが重要である。

科学技術を公衆が利用するにあたり、過去に発生した事故、今後発生すると予想される事故や、それに関する危険性、リスク、問題を公衆が理解できるように公開し、警告を発する態度が必要である。

現場作業者に対しては、正しい取扱説明書、マニュアルに基づいた安全教育を実施するとともに、マニュアル通りに実施されているかを作業報告書や管理者立会により確認を行う。異常発生時の避難訓練を実施する。ユーザーには技術製品を利用するにあたっての注意事項、禁止事項を織り込んだ取扱説明書を充実させ、利用時の注意を促す。

公衆への公開や警告方法については、集合形式の安全講習会やeラーニング、動画配信など効果的なものを検討、導入するという態度も必要である。

(b) 知識：公衆の科学技術リテラシーの内容と公衆の懸念・ニーズについての知識・理解

科学技術コミュニケーションにより公衆の科学技術リテラシーを向上させるためには、公衆の科学技術リテラシーの内容さらに、公衆の要望、ニーズ、懸念について知識を得て理解することが必要である。

その科学技術について公衆が持ち合わせている知識、公衆がどこまで知り理解しているか、何を知らず理解していないか、何を知りたがっているか、何を知ることが必要か、何が気にかかり心配なのか、の知識を得て理解することが必要である。

前述のJCO臨界事故や猫電子レンジ事件、冷蔵庫による事故死など過去の事故事例を分析する。さらに公衆向けの科学技術講演会、科学技術見学会などを開催し、科学技術についてのウェブサイトを開設することにより、公衆との意見交

¹¹⁵ 小林修『年表昭和の事件・事故史』東方出版, pp.290, 1989年

換やアンケート実施する。これらの取組みなどにより、公衆の科学技術リテラシーの内容と公衆の懸念・ニーズについての知識・理解を進める。

(c) スキル：公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシーの向上と融合のための科学技術コミュニケーションスキル

技術者と公衆の双方向のコミュニケーション，及び相互理解が不可欠である。

本来，技術者は，公衆に情報を適宜，適切な方法で提供することにより，情報公開し，公衆への説明責任を果たすことにより，公衆の科学技術リテラシーの向上，技術者の社会リテラシーの向上，及び双方のリテラシーの融合を図ることが必要である。

そのために，技術者が科学技術を公衆に伝えるとともに公衆の意思，情報を聴き取るという科学技術コミュニケーションスキルが必要である。

技術者が科学技術を公衆に伝えるには，

- ①専門用語は丁寧にわかりやすい言葉で解説する
 - ②難しそうな内容については身近なたとえ話を用いる
 - ③自分立場を明確にし趣旨を2～3に絞る
- などをコミュニケーションに取り入れるスキルを身に付ける。

公衆から情報を聴き取るには，

- ①技術者は公衆に対してどのような役割を果たすべきか
- ②技術者と公衆との意識差，コミュニケーションギャップを埋めるためにはどうしたらよいか，
- ③公衆の立場から知恵をお貸し頂きたいという態度で
コミュニケーションするというスキルを身に付ける。

これらのコミュニケーションスキルは，公衆に技術を解説する機会を利用して向上させる。

一つの取組みとして，公衆が日常生活において関わる科学技術について，カフェ空間で技術者が公衆に科学技術をわかりやすく解説をするというテクノロジーカフェが開催されている。例えば，日本技術士会中部本部では，2006年度からは，市民・市民団体，企業，学校・大学，行政が協働でつくる環境活動のネットワークである『なごや環境大学教育講座』の中でテクノロジーカフェを開設している。例えば「食」を大テーマに「料理の科学」や「非常食の今昔」等を月1回小テーマとして6か月にわたり，市民との対話を積極的に行っている¹¹⁶。この

¹¹⁶ 名古屋環境大学：Web ページ， <https://www.n-kd.jp/calendar/lineup/kxcoza15a/B-79.html>， 参照日：2021-4-10

ような機会を通じて、技術者が公衆の科学技術リテラシーの向上を図ることが必要である。

以上、表 4-2 に事例分析に基づいた技術者に求められる能力を整理した。また、V-5. では、さらに横断的な能力として(1)先進科学・技術知見、(2)技術思想知識、(3)俯瞰的システム能力、(4)非常想定・対応知見と能力、(5)三現主義遂行能力、(6)コミュニケーション応用能力、にまとめている。

表 4-2 事例分析に基づいた技術者に求められる能力

項目		④態度	⑥知識	③スキル
(1) リスク評価	①[リスク評価力] 安全神話から脱出する能力	本当に安全ということを実際に確認する姿勢 (5)三現主義遂行能力	安全神話の実態と関連事項についての知識と理解 (2)技術思想知識	事故・故障を想定する力 (4)非常想定・対応知見と能力
	②[リスク評価力] 適切なリスク想定と対応力	リスクを正しく設計・開発に生かし伝達する姿勢 (5)三現主義遂行能力	リスクの多様性を理解する力 (1)先進科学・技術知見	リスク想定力と対応力 (4)非常想定・対応知見と能力
	③[リスク評価力] システム依存からの脱出	システム全体の安全性を評価・構築・管理するという姿勢 (3)俯瞰的システム能力	周辺部も含めた防護システムの理解 (3)俯瞰的システム能力	事故対応策の想定・準備と訓練 (4)非常想定・対応知見と能力
	④海外からの導入技術への盲信から脱出する力	マニュアル・基準・規格の根拠を確かめ、危険・リスクを評価する姿勢 (5)三現主義遂行能力	マニュアル・基準・規格の根拠・背景・設定過程、考え方の知識と理解 (2)技術思想知識	海外からの導入技術を国内基準で評価する力 (5)三現主義遂行能力
(2) 技術思想の伝承	技術思想を正しく伝承する姿勢 (6)コミュニケーション応用能力	正確な技術思想の知識と理解 (2)技術思想知識	科学技術コミュニケーション能力 (6)コミュニケーション応用能力	
(3) 基準遵守から予見的・予防的対応	従来の法律、技術基準、安全基準の絶対視・盲信からの脱却、最新の技術的知見・予防的対応、従来と異なる科学的対応方法を取り入れ反映しよとする姿勢 (1)先進科学・技術知見	最新の技術的知見・予防的対応、従来と異なる科学的対応理解 (1)先進科学・技術知見	最新の技術的知見・予防的対応、従来と異なる科学的対応方法を取り入れ反映する能力 (1)先進科学・技術知見	
(4) 非常用装置の使用	非常用装置の日常からの操作訓練姿勢 (4)非常想定・対応知見と能力	非常用装置の作動原理・作動状況の理解 (4)非常想定・対応知見と能力	非常時対応手順の技術指導能力とコミュニケーション能力 (4)非常想定・対応知見と能力	
(5) 公衆の科学技術リテラシー向上	科学技術に伴う危険性、リスク、問題について社会に公開し警告を発する態度 (6)コミュニケーション応用能力	公衆の科学技術リテラシーの内容と公衆の懸念・ニーズについての知識と理解 (6)コミュニケーション応用能力	公衆の科学技術リテラシーと技術者の社会リテラシーの向上と融合のための科学技術コミュニケーションスキル (6)コミュニケーション応用能力	

第二部 日本の工学教育と技術者制度の現状と改善策

第Ⅰ章において、巨大化・総合化・複雑化、および不確実性下の科学技術の代表事例として、福島第一原子力発電所の事故原因を分析し、技術者に求められる能力を抽出した。

第Ⅱ章、第Ⅲ章においても同様に、六本木ヒルズ回転ドア事故と水俣病対策とを取り上げ、事故原因や被害拡大防止と早期解決ができなかった原因について分析を行い、第Ⅰ章で抽出した技術者に求められる能力が妥当なものであるかを検証した。

第Ⅲ章ではさらに、成功事例として、女川原子力発電所建設工事と福島原子力発電所アクシデントマネジメント、イタイイタイ病の原因解明と対策を取り上げ、成功要因について分析を行い、技術者に求められる能力の妥当性を検証した。

そして、第Ⅳ章では第Ⅰ章～第Ⅲ章の計 7 事例に基づき技術者に求められる能力の内容をさらに詳しく検討し構造化した。

以上の作業で得られた知見を踏まえ、第二部では、日本における工学教育と技術者制度のあるべき姿を提案することを目指す。まず第Ⅴ章では、日本の工学教育の現状をまとめる。そして、第一部で抽出・分析したこれからの技術者に求められる能力を整理し、JABEE が現状の工学教育に求めている能力と比較し、追加すべき能力を JABEE の認定基準に不足している技術者の能力として明確にする。さらにその能力を身につけるための新たな工学教育、新規科目の提案を行う。

さらに第Ⅶ章では、日本の代表的な専門技術者制度である技術士制度を取り上げ、技術士に求められる資質・能力の現状について、分析、整理を行う。

さらに、海外の技術者制度として、米国 Professional Engineer (PE) 制度と NSPE (全米 PE 協会 : National Society of Professional Engineer)、及び英国 Chartered Engineer (CEng) 制度を取り上げ、日本の技術士制度と、米国 PE 制度、英国 CEng 制度との比較を行う。

以上に基づき「技術者制度改善の方向性」について、提案を行う¹¹⁷。

¹¹⁷ 比屋根均「日本の技術者制度変革の停滞と混乱～その問題分析と解決策の提示～」

(2015.3) では、「日本の技術者制度の問題点」は、「倫理要求」「問題解決人材要求」「グローバル化対応の制度整備要求」の 3 つの要求を満たす変革であったという特徴と、本変革が米国制度に倣って急速に行われたが故に、理解不十分なまま中途半端に制度整備がなされたという特徴に着目し、この変革の停滞と混乱の問題を解明し、解決策を提示しようとするものである。本研究では、実際の代表的な事例分析に基づき、より実証的で実用的な手法を用いて、工学教育と技術者制度のあり方について、提案を行うものである。

第2の課題に対しては、昨今、高校教育と大学教育の円滑な接続、いわゆる「高大接続」が叫ばれる中、さらに大学教育と卒業後の社会での技術者教育を円滑に接続し、その教育内容を充実させることが必要である。

さらに、その能力が発揮できる環境づくり、制度づくりが必要であり、そのためには、継続的な研鑽を含む技術者制度全体の改善が必要不可欠である。技術者資格認定に関して、国家の行政機関による規制を行う米国方式と、非政府である技術者団体の自治による規制を行う英国方式に大別することができる、。日本の技術者教育を含めた技術者制度の改善策を検討するにあたり、日本における代表的な専門技術者制度である技術士制度、海外の技術者制度の代表事例として、日本の技術士制度のモデルとなった米国 Professional Engineer (PE) 制度と英国 Chartered Engineer (CEng) 制度を取り上げる。

そして、資格を取得し維持するための、教育と実務経験、資格登録、継続研鑽 (CPD : Continuing Professional Development)、資格更新、協会への加入、という観点から、技術士制度と米国 PE 制度と英国 CEng との比較を行う。

そして、社会でプロフェッショナルエンジニア (技術士) となる段階での技術者に焦点をあて、技術者教育を含めた技術者制度の改善について、

- (1) 技術士に求められる資質能力 (コンピテンシー) の改善、
という教育面だけではなく、
- (2) 技術士試験の改善
- (3) 日本技術士会への加入促進
- (4) 資格更新制度
- (5) 継続研鑽 (CPD) の改善

という環境面や制度面という観点から、技術者制度改善案の提案を行う。

第V章 工学教育の現状と改善策

V-1. JABEE 設立の経緯

1980年代後半、世界の経済体制における市場経済化や開放経済化の動きが進展し、国境を越えたグローバル化が急速に進んだ。こうした背景のもとに、専門技術者の国境を越えた流動性の確保が重要となり、商品や技術の国際的な規格化、標準化とともに、技術者資格の国際的相互承認のニーズが高まった¹¹⁸¹¹⁹¹²⁰。

こうして、1989年に米国、英国、オーストラリア、カナダ、アイルランド、ニュージーランドの6カ国によって、技術者教育の実質的同等性を相互承認するための国際協定であるワシントン協定が締結された。

JABEEのWebページによれば、「この協定の目的は、各加盟団体が行う技術者教育認定制度の認定基準・審査の手順と方法の実質的同等性を相互に認め合うことにより、他の加盟団体が認定した技術者教育プログラムの実質的同等性、ひいてはその修了者について自国・地域の認定機関が認定したプログラム修了者と同様に専門レベルで技術業を行うための教育要件を満たしていることを相互に認め合うこと」とされている¹²¹。

1995年には世界81の国と地域が参加して設立された世界貿易機構(WTO:World Trade Organization)が、「人の供給サービスの貿易に関する一般協定(GATS:General Agreement on Trade in Services)」を締結した。

その中において、モノだけでなくサービス業務の障壁も本協定の対象となり、専門職の国際的な移動の促進が提言された。一方わが国ではバブル崩壊前後から、日本学術会議や一部の識者の間で、我が国の工学系教育の世界標準からの乖離による競争力低下が危惧されるようになった。さらに、技術者教育の立ち遅れを心配した文部科学省、日本工学会、公益社団法人日本技術士会等の団体や吉川弘之氏(当時東京大学学長)、大橋秀雄氏(当時国学院大学学長)、大中逸雄氏(当

¹¹⁸工学教育の外部認証制度(アクレディテーション)の導入促進に関する調査報告書、産業基盤整備基金、1999

¹¹⁹技術者教育におけるアクレディテーションシステムに関する調査報告書(文部省委嘱調査)、(社)日本工学協会、2000

¹²⁰篠田庄司「大学における技術者教育と改革の方向」、電子情報通信学会会誌2001年1月号

¹²¹日本技術者教育認定機構(JABEE):Webページ,
https://jabee.org/international_relations/washington_accord, 参照日:2021-6-30

時大阪大学教授)等の有識者は、技術者教育の認定制度を早急に立上げてワシントン協定に加盟することを決定した¹²²。

こうして、我が国では1999年に一般社団法人日本技術者教育認定機構(JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education)が設立された。その狙いは、高等教育機関における学士および修士レベルの技術者教育プログラムの質が保証されているかどうかを認定することによって、教育の改善を推進するとともに、教育プログラムの国際的な通用性を担保することにあった。

JABEEは2001年度から認定を開始し、2005年6月に日本を代表する認定団体として、アジアおよび非英語圏国では初めてワシントン協定への正式加盟が認められた。

V-2. JABEEの組織と活動内容

JABEEは、正会員(63の工農理系学協会)と賛助会員(25の企業)、16学協会から選出された理事により構成され、3会議(産業諮問評議会、運営会議、認定会議)と4委員会(認定事業委員会、財務・企画委員会、広報・啓発委員会、国際委員会)より組織運営される(2020年4月現在)。歴代の会長は、初代の吉川弘之氏(当時放送大学学長)、二代の大橋秀雄氏(当時工学院大学理事長)、三代の木村孟氏(当時(独)大学評価・学位授与機構長)、四代の有信睦弘氏(当時東京大学監事)、そして五代は現在の富田達夫氏(当時(独)情報処理推進機構理事長)である。

JABEEの主な活動内容は以下の通りである。

① 認定・審査

JABEEは、認定申請のあった教育プログラムを約1年かけて審査し、その結果に基づいて認定の可否を判定する。審査では、その教育プログラムがJABEEの定める認定基準に適合するか確認し、判断を行う¹²³。

② 広報・普及

JABEEは、技術者教育に関連する講演会、ワークショップ、広報等の教育振興活

¹²² 日本技術者教育認定機構(JABEE): Web ページ, <https://JABEE.org/>,

参照日: 2021-6-30

¹²³ 日本技術者教育認定機構(JABEE): Web ページ, <https://JABEE.org/>,

参照日: 2021-6-30

動を行っており、これらの活動により、自己点検評価に基づき PDCA サイクルを回すことによる教育改善、および技術者教育で特に重要なエンジニアリング・デザイン教育の実践などを支援する¹²⁴。

世界に 8 団体ある技術者教育認定団体の一致した考え方は、認定制度を使って教育の改善を行うというものである。ワシントン協定がメンバーである国際エンジニアリング連盟（International Engineering Alliance：IEA）では、技術者像の定義や、技術者教育に関する重要なテーマを継続的に議論している。JABEE はこれらの国際的な動きを把握し、最新の情報を国内の教育機関に紹介している¹²⁵。

V-3. JABEE 認定制度

JABEE 認定対象のプログラムは、大学の理工系、および農業系の学士課程と一部の修士課程、さらに一部の大学校および高等専門学校の本科学科 4・5 年と専攻科 1・2 年の 4 年間の課程（学士課程に相当）に属する学科、専攻またはその中のコースなどである¹²⁶。

JABEE の認定基準は、技術者教育認定の世界的枠組みであるワシントン協定の考えに準拠したものであるため、認定プログラムの提供する技術者教育は国際的に同等であると認められ、その認定プログラムの修了生は、世界に通用する教育を受けた技術者と認められる。認定基準は、科学技術の専門知識、技術者倫理、デザイン能力、コミュニケーション能力、チームワーク力など技術者に求められる国際的な要件に沿ったものである¹²⁷。

JABEE の認定は、関連した技術分野の学協会により結成された公正かつ中立を謳った審査団による第三者ピアレビューにより実施されている。

JABEE の Web ページによれば、認定のプロセスについては、まず「技術者教育

¹²⁴ 日本技術者教育認定機構（JABEE）：Web ページ，<https://JABEE.org/>，
参照日：2021-6-30

¹²⁵ 日本技術者教育認定機構（JABEE）：Web ページ，<https://JABEE.org/>，
参照日：2021-6-30

¹²⁶ 日本技術者教育認定機構（JABEE）：Web ページ，<https://JABEE.org/>，
参照日：2021-6-30

¹²⁷ 日本技術者教育認定機構（JABEE）：Web ページ，<https://JABEE.org/>，
参照日：2021-6-30

プログラムからの認定申請」から始まる。次に「審査団」による「自己点検書の審査」、「実地審査」が実施され、それらの結果が「審査報告書」にまとめられる。

「JABEE の分野別審査委員会，認定・審査調整委員会」により「審査報告書」が作成，審議され，「認定会議」により「認定の可否が決定」される。「理事会の承認後，プログラムに対して認定の可否が通知」される¹²⁸。

以上の認定プロセスに合格すると JABEE 認定プログラムとしてプログラム名が公表される。2016 年度までの JABEE 認定プログラムの累計は 501 で，JABEE 認定プログラム修了生数の累計は約 26 万人に及んでいる。また，認定プログラムの修了生は，国家資格である技術士の第一次試験が免除される。

しかし，旧帝国大学に代表される伝統のある国立大学では認定の申請も少なく，認定数の伸び悩みと同時に，昨今では認定からの離脱する大学も散見されるのが現状である¹²⁹。

因みに 2007 年度以降，認定プログラムに対してアンケート調査を実施しており，その中の自由記述回答からの主な意見は以下の通りであり¹³⁰，これらの要因が JABEE の現状に影響していると考えられる。

- (1) 社会，企業における JABEE の認知度が低く，評価が伴っていない。従って JABEE 修了生へのインセンティブにならない。
- (2) 有名大学による認定プログラムが少ないため，JABEE の価値を認めないという教員が少ない。
- (3) 資料作成等，JABEE 受審のための準備負荷が大きい。

さらに JABEE における「技術者に求められる能力」や現行の大学等における工学教育の妥当性については十分に確認，検証されていないのが現状である。

V-4. JABEE が定める学習・教育到達目標¹³¹

JABEE では，「JABEE が定める学習・教育到達目標」において，技術者に必須の知識・能力として，以下の通り 9 項目が定められている。

¹²⁸ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) : Web ページ，

https://jabee.org/about_jabee/accreditation_system，参照日：2021-6-30

¹²⁹ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) 「2013 年度自己評価書」，2015 年 2 月

¹³⁰ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) 「2013 年度自己評価書」，2015 年 2 月

¹³¹ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) : Web ページ，<https://JABEE.org/>，

参照日：2021-6-30

- (a) 地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養
- (b) 技術が社会や自然に及ぼす影響や効果，及び技術者が社会に対して負っている責任に関する理解
- (c) 数学及び自然科学に関する知識とそれらを活用する能力
- (d) 当該分野において必要とされる専門的知識とそれらを活用する能力
- (e) 種々の科学，技術及び情報を活用して社会の要求を解決するためのデザイン能力
- (f) 論理的な記述力，口頭発表力，討議等のコミュニケーション能力
- (g) 自主的，継続的に学習する能力
- (h) 与えられた制約の下で計画的に仕事を進め，まとめる能力
- (i) チームで仕事をするための能力

これらの知識・能力の項目は，ワシントン協定が示している卒業生に求められる 12 項目の知識・能力 (Graduate Attributes) (①エンジニアリングに関する知識，②問題分析，③解決策のデザイン／開発，④調査，⑤最新のツール利用，⑥技術者と社会，⑦環境と持続性，⑧倫理，⑨個別活動及びチームワーク，⑩コミュニケーション，⑪プロジェクト・マネジメント，⑫生涯継続学習)¹³²をもとに，米国 ABET (Accreditation Board For Engineering and Technology：米国技術者教育認定機構) で要求される以下の ABET-EC2000 の卒業生の要求基準(a)～(k)を参考に我が国の教育の特質等も考慮して 9 項目にまとめたものである。

【ABET の Criteria】

- (a) 数学，科学，工学の知識の応用能力
- (b) 実験を計画・実施し，得られたデータの解釈・分析をする能力
- (c) 各種制約下でニーズに合致するシステム要素，プロセスのデザイン能力
- (d) 学際的なチームでの活動能力
- (e) 工学的問題の特定・定式化・解決能力
- (f) 職業的・倫理的責任の理解
- (g) 効果的コミュニケーション能力
- (h) 工学的解決が地球／経済／環境／社会に及ぼす影響の理解に必要な幅広い教育

¹³² IEA GA&PC 翻訳ワーキンググループ 2012「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」.IEA Graduate Attributes and Professional Competencies の翻訳にあたって」 文部科学省先導的の大学改革推進委託事業. 技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究,pp.265 - 282

- (i) 生涯学習の必要性和、そのための必要能力の認識
- (j) 現代の課題に関する知識
- (k) 工学問題解決に必要な技術、技能、各種の新しい工学ツールを使える能力

Tuning Texas のキーコンピテンシー、ABET や JABEE の認定基準、国際エンジニアリング連合 IEA が定める卒業生としての知識・能力 (Graduate Attributes) 等の標準的な基準の項目は、表 5-1 に示すようにほぼ対応しており、JABEE の認定基準には国際的な担保が得られるものと考えられる¹³³。

表 5-1 各種基準における目標の比較・対応¹³⁴

	Tuning Texas のKey Competencies (ABETのCriteriaと1対1に対応)	ABETのCriteria	JABEE 2012年基準の 学習教育到達目標
1	Mathematics, Science & Engineering	(a)数学,科学,工学の知識の応用能力	(c)数学、基礎科学 (d)専門応用
2	Experiments	(b)実験を計画・実施し、得られたデータの解釈・分析をする能力	(d)工学リテラシー
3	System Design (デザイン作業の後半: 解の設計)	(c)各種制約下でニーズに合致するシステム要素,プロセスのデザイン能力.	(e)デザイン能力
4	Multidisciplinary Teams	(d)学際的なチームでの活動能力	(i)チーム活動能力
5	Engineering Problems (デザイン作業の前半: 問題特定、プロマネ)	(e)工学的問題の特定・定式化・解決能力	(d)専門応用 (e)デザイン能力 (h)プロマネ
6	Professional and Ethical Responsibility	(f)職業的・倫理的責任の理解	(b)倫理
7	Communication	(g)効果的コミュニケーション能力	(f)コミュニケーション
8	Global Impact of Engineering Solution	(h)工学的解決が地球/経済/環境/社会に及ぼす影響の理解に必要な幅広い教育	(b)社会的責任
9	Life-long Learning	(i)生涯学習の必要性和、そのための必要能力の認識	(g)自主的・継続学習
10	Contemporary Issues	(j)現代の課題に関する知識	(a)地球的視点
11	Engineering Tools (工学リテラシー)	(k)工学問題解決に必要な技術、技能、各種の新しい工学ツールを使える能力	(d)工学リテラシー

¹³³ 千葉大学「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究報告書」文部科学省 平成 22, 23 年度先導的の大学改革推進委託事業, pp.21-24, 2012

¹³⁴ 出展 千葉大学「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究報告書」文部科学省 平成 22, 23 年度先導的の大学改革推進委託事業, pp.24, 2012 より

ここでは、科学技術の知識だけでなく、技術者倫理，デザイン能力，コミュニケーション能力など世界の技術系高等教育機関の標準となる能力の教育を要求している。

次に、JABEE の Web サイトにある「認定のしくみ・認定基準」と JABEE 「「認定基準」の解説」¹³⁵の二つの文献により分析を行う。JABEE 「「認定基準」の解説」には「JABEE が定める学習・教育到達目標」(a)～(i)の個別基準¹³⁶が定められている。

第一部で抽出・分析した「技術者に求められる能力」と比較すると、「技術者に求められる能力」として、(a) (b) (e) では、曖昧で具体的な内容としてわかりにくい。また、(c) (d) (f) (g) (h) (i) では、基礎的すぎて不十分である。

例えば、「(a) 地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養」については、個別基準で以下に定められている

- ・人類のさまざまな文化，社会と自然に関する知識
- ・それに基づいて，適切に行動する能力

これにとどまらず，さらに，一生涯を通じて常に更新されつつある最新の先進的な科学・技術の視点という観点から、「多様なリスクを理解する力」としての最新の「先進科学・技術知見」に関する能力を身に付けることが必要である（表 5 の(1)②③に該当）。

「(d) 当該分野において必要とされる専門的知識とそれらを応用する能力」については、個別基準で以下に定められている

- ・当該分野において必要とされる専門的知識
- ・上記の知識を組み合わせることも含めた応用能力
- ・当該分野において必要とされるハードウェア・ソフトウェアを利用する能力

しかし，このような当該分野での既存の基礎的な専門的知識では不十分で，当該分野に限らず，当該分野以外も含む最新の「先進科学・技術知見」の概要や技術レベル（表 4-2 の(3)④，(3)⑤，(3)⑥に該当）に関する萌芽的能力を身に付けることが必要である。

また，当該技術について，設計，開発，設置，導入，維持管理する各段階において適用する普遍的な前提条件や考え方，知識としての技術思想についても身に付ける必要がある（表 4-2 の(1)①④，(1)⑤④，(2)⑤に該当）。

「(e) 種々の科学，技術及び情報を活用して社会の要求を解決するデザイン能力」

¹³⁵ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) 「「認定基準」の解説」 pp.1-46, 2019

¹³⁶ 日本技術者教育認定機構 (JABEE) 「「認定基準」の解説」 pp.8-12, 2019

については、個別基準で以下に定められている

- ・ 解決すべき問題を認識する能力
- ・ 公共の福祉、環境保全、経済性等の考慮すべき制約条件を特定する能力
- ・ 解決すべき課題を論理的に特定、整理、分析する能力
- ・ 立案した方針に従って、実際に問題を解決する能力

しかし、このようなシステムの部分的、要素的な観点だけではなく、システム全体を大局的・客観的に見渡し把握した上で、総合的に評価・管理・判断する「俯瞰的システム能力」を身に付けることが必要である（表 4-2 の(1)③A, (1)③Bに該当）。

「(f)論理的な記述力、口頭発表力、討議等のコミュニケーション能力」については、個別基準で以下に定められている。

- ・ 情報や意見を他者に伝える能力
- ・ 他者の発信した情報や意見を理解する能力
- ・ 英語等の外国語を用いて、情報や意見をやり取りするための能力

ここで記載されているのは本来公衆や社会として広くとらえられるべき「他者」を狭く限定し、主に学会発表に必要な語学力やプレゼンテーション能力に限定されたコミュニケーション能力である。真に技術者に求められる能力は、公衆や社会を含んだ他者の要望やニーズを聴いて適切に科学技術を伝えるというコミュニケーション能力、さらにテクノロジーカフェに代表される公衆や社会とのコミュニケーションの場をつくる能力である（表 4-2 の(2)A, (2)C, (5)A, (5)B, (5)Cに該当）。

また、社会人として仕事をしていく上で一般的に必要な能力として「(g)自主的、継続的に学習する能力」、「(h)与えられた制約下で計画的に仕事を進め、まとめる能力」、「(i)チームで仕事をするための能力」については、個別基準¹³⁷で以下の通り定められている。

「(g)自主的、継続的に学習する能力」

- ・ 将来にわたり技術者として活躍していくための継続的研鑽の必要性の理解
- ・ 必要な情報や知識を獲得する能力

「(h)与えられた制約下で計画的に仕事を進め、まとめる能力」

- ・ 時間、費用を含む与えられた制約下で計画的に仕事を進める能力
- ・ 計画の進捗を把握し、必要に応じて計画を修正する能力

¹³⁷ 日本技術者教育認定機構（JABEE）「認定基準」の解説 pp.11-12, 2019

「(i) チームで仕事をするための能力」

- ・他者と協働する際に、自己のなすべき行動を的確に判断し、実行する能力
- ・他者と協働する際に、他者のとるべき行動を判断し、適切に働きかける能力

社会人として仕事をしていく上で一般的に必要な能力として、(g) (h) (i)に限定されず、「非常想定・対応知見と能力」(表 4-2 の(1)①C, (1)②C, (1)③C, (4)A, (4)B, (4)Cに該当)、現場・現物・現実の3つの「現」を重視し、問題の解決を図る「三現主義遂行能力」(表 4-2 の(1)①A, (1)②A, (1)④A, (1)④Cに該当)が必要である。

V-5. JABEE の認定基準に不足している技術者の能力

「事例分析に基づいた技術者に求められる能力」(表 4-2) から「JABEE が定める学習・教育到達目標で技術者に求められる能力」(a)～(i)を差し引いた。

JABEE の認定基準に不足している技術者の能力について、工学教育において提供するには、どのような能力が必要かという観点から、これらを整理し、横断的な能力として以下にまとめた。

「JABEE が定める学習・教育到達目標で技術者に求められる能力」に加えて、JABEE の認定基準に不足し、追加すべき技術者の能力を以下の通り提案する。

(1) 先進科学・技術知見

当該分野に限らず当該分野以外も含む最新の先進的な科学・技術についての知見に関する能力を身に付けることが必要である。さらに最新の先進的な科学・技術についての知見でも自然科学については、昨今の動向により想定外の事象の存在や科学技術の不確実性を含めた「自然科学に関する知識とそれらを応用する能力」が必要である。「JABEE が定める学習・到達目標 (c) 数学及び自然科学に関する知識とそれらを応用する能力」においては、想定外や科学技術の不確実性が含まれていない。ここで想定外とは「当時の標準的な科学者・技術者の科学技術水準をもってしても想定できない」というものである。

また、科学技術の不確実性とは前述のように¹³⁸、「科学技術の知識の状態としては、自然現象や社会動態の科学的分析結果に、断言のできない内容が含まれて

¹³⁸ 藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」,東京大学出版会,pp.259-265,2005

いる状態」をいう。

例えば「当時の標準的な科学者・技術者の科学技術水準でも想定できない地震や津波などの自然現象」など「科学技術の不確実性の影響やリスクを理解する能力」、さらには、「現行の科学技術に関する法律，技術基準，安全基準にとらわれず，科学技術の不確実性の下，それらに関する最新の技術的知見についての知識を理解し，取り入れ反映しようとする姿勢，反映する能力」が必要である。

そのためには，例えば自身が運営・管理する技術設備において，想定外あるいは不確実性に該当する事象を設定し，どのような事前準備，防災対策，減災対策，事後対策が必要かを検討し実施するという事例研究と訓練を行う。

その際，最新の先進的な科学・技術について，巨大化・総合化・複雑化した科学技術の要素技術という観点からも，センサー技術，人工知能，組み込み OS などの活用の提案を行う。

(2) 技術思想知識

そもそも当該技術について，設計，開発，設置，導入，維持管理する際の当該技術の各段階において実施する①その機能性（利便性），②経済性（コスト），③安全性，④環境適合性の 4 条件に関連した普遍的な前提条件や考え方，知識としての技術思想を身に付ける必要がある。

この技術思想知識については，「JABEE が定める学習・到達目標 (d) 当該分野において必要とされる専門的知識とそれらを応用する能力」に含まれるべきものであるが，本来技術思想は「暗黙知」であるため，含まれていない。

身近な技術思想知識の例として，構造物の地盤沈下シミュレーションにおいて，通常は地盤をよく調べた上で適切なモデルを設定するが，その際当該地盤を普遍的な前提条件である技術思想として，本来弾塑性モデルで解析すべきところを，誤って弾性モデルで解析をしたという技術思想伝承の失敗例も少なからず発生している。

実際に開発，導入された技術を取り上げ，その技術思想，マニュアル・基準・規格の根拠やその背景，設定された過程，考え方を調査し発表するという訓練，プロジェクトを実施する。

(3) 俯瞰的システム能力

技術者は自分の専門分野に限定されず巨大化・総合化・複雑化した科学技術全体のシステムについて，システム全体を俯瞰し，総合的評価・管理・判断する能

力を身に付けることが必要である。

また、実際に自身が設計、管理を行うシステムについて、安全システムに依存するだけでなく、自らがシステムの中核部分だけでなく周辺部も含めたシステム全体の安全性評価・構築・管理するという姿勢が必要である。

俯瞰的システム能力がうまく発揮した事例として、ガスコージェネレーションシステムが挙げられる。このシステムは、都市ガスを燃料としてエンジン、タービン、燃料電池などで発電し、この時に生じる熱エネルギーも蒸気や温水に変換してその地域の冷暖房や給湯、温水プールの加温などに利用するという総合的なエネルギー効率の高いシステムである¹³⁹。コストダウンを図るとともに省エネルギー、電力ピーク対策や電源セキュリティの向上、さらに環境保全にも大変有効で、まさにシステム全体を俯瞰し、総合的評価・管理・判断したという俯瞰的システム能力がうまく発揮した事例である。

このガスコージェネレーションシステムの現場見学を実施するとともに、自身が関連するシステムを取り上げて、俯瞰的システム能力を発揮するという事例として事例研究・プロジェクトを行う。

(4) 非常想定・対応知見と能力

技術者は、非常用装置の活用をはじめとし、非常時を想定し適切に対応できる知見と能力を身に付ける必要がある。具体的には、非常用装置の作動原理、作動方法を含む非常時の対応手順を理解するとともに、日常から必要な所定の要員について非常用装置を含み非常時に適切に対応できる能力を身につけさせるための技術指導能力やコミュニケーション能力が必要である。

日常の身近な例としての消防訓練については、非常時を想定し、平常時より消火器の取り扱いについての理解と操作訓練が必要であり、組織や個人で定期的実施されている。

非常想定・対応を含む事故・訓練ビデオを集団で視聴し、原因と対策、今後の改善点についてグループディスカッションを行う。また、自身が関わる設備、装置について、非常事態（火災、地震）を想定した防災・減災訓練を実施することにより、非常想定・対応知見と能力を身に付けさせる。

(5) 三現主義遂行能力

¹³⁹ 一般社団法人日本ガス協会 web ページ, <https://www.gas.or.jp/gas-life/cogeneration/>, 参照日: 2022-6-4

昨今の情報技術の急速な発展により、科学者や技術者は膨大なデータや情報を短時間に収集・解析することが可能になる一方、“現場”“現物”“現実”の3つの“現”を重視し、机上ではなく、実際に自分で現場で現物を観察して、現実を認識した上で、問題の解決を図らなければならないという三現主義遂行能力を身に付ける必要がある。

科学技術に限らず、日常においても三現主義は重要で、例えば事務室での複写機購入・設置作業において、事務室の図面に基づいて、事務室における当機器設置のレイアウト寸法内の大きさの機器の発注を行った。ところが、事務室への搬入口の大きさを実際に自分で現場で現物を観察し、現実を認識するという行為をしなかったため、発注した機器が大きすぎて搬入することができなかったという事例も科学技術に限らず日常生活においても、よく発生している。

三現主義遂行能力を身に付けるために、実際に三現主義を実施しているトヨタ、ホンダの工場に出向き、現場技術者から三現主義での成功事例や失敗事例を聴き取り発表するという訓練、プロジェクトを実施する。

さらに、実際に海外から導入された技術を取り上げ、国内での安全基準、技術基準、知見等に基づいて評価するという訓練、プロジェクトを実施する。

(6) コミュニケーション応用能力

科学技術を通じて、技術者が公衆や社会と適切にコミュニケーションができる応用能力を身に付ける必要がある。

具体的には、技術者が科学技術を公衆に伝えるとともに公衆の意思、情報を聴き取るという科学技術コミュニケーションスキルが必要である。

身近な例としても、日常使用するユニットバスのユニバーサルデザイン製品の開発¹⁴⁰においても、健康な若年者から高齢者、幼児、さらに障害者に至る使いやすさを考えて開発する必要があり、ニーズや懸念などを聴き取ると同時にそれを開発品に生かすというコミュニケーション応用能力が必要となる。

本ユニバーサルデザイン製品の開発事例をもとに、コミュニケーション応用能力を身に付けるために、自身が開発しようとする技術を取り上げ、その開発仕様において、ユーザーのニーズや懸念を含めた意見を聴き取り、改善を提案・実

¹⁴⁰ 黒田光太郎・戸田山和久・伊勢田哲治編「誇り高い技術者になろう（第二版）」名古屋大学出版会,pp.4-17,2012

施するというプロジェクトを実施する。

V-6. 新たな工学教育，新規科目の提案

JABEE の工学教育で不足している技術者の能力をより積極的に自発的に身に付けさせるために，以下のように，新規科目を提案する。

提案する新規科目は以下の 2 科目である。

【科目 1】技術災害事例研究

【科目 2】科学技術コミュニケーション演習

科目毎に，以下の通り，シラバスに該当する項目①～⑬を記載する。

①配当学年，②単位数，③開催年度・開講期，④曜日時限，⑤授業形態，⑥使用言語，⑦概要・目的，⑧到達目標，⑨授業計画と内容，⑩履修要件，⑪成績評価方法，⑫教科書，⑬参考書

【科目 1：技術災害事例研究】

①配当学年：3 年次，又は 4 年次

②単位数：2

③開催年度・開講期：毎年度後期

④曜日・時限：年度毎設定

⑤授業形態：講義，グループプロジェクト，グループディスカッション，発表。多分野の観点からの検討を行うため，1 グループはできるだけ専門分野の異なる学生 6 名（標準）から構成する。

⑥使用言語：日本語

⑦概要・目的

巨大化・総合化・複雑化した科学技術の代表であるとともに，要素技術として，格納容器，発電設備，電子・通信設備，非常用電源装置等，原子力工学，電気工学，機械工学，材料工学，土木工学，情報工学，通信工学等のあらゆる分野の工学が関わる技術災害の事例として，福島第一原子力発電所事故を取り上げて事故原因分析手法を学ぶ。

⑧到達目標

(1) 先進科学・技術知見，(2) 技術思想知識，(3) 俯瞰的システム能力，(4) 非常想定・対応知見と能力，(5) 三現主義遂行能力，について，その内容と必要性を理解させる。さらに今後より積極的に自発的に(1)～(5)の能力を身に付け

る姿勢を確立させる。

①授業計画と内容

【第1回】講義（ガイダンス）

福島第一原子力発電所事故事例を用いたグループプロジェクトの実施について、事故の概要説明と進め方のガイダンスを行う。

また、福島第一原子力発電所事故についての4つの事故調査委員会の報告書（国会、政府、民間、東京電力）の視点、特徴、読み方等について解説を行う。

【第2回～4回】グループプロジェクト（事故原因調査1～3）

福島第一原子力発電所事故についての4つの事故調査委員会の報告書（国会、政府、民間、東京電力）から、各グループに対し1つの事故報告書を与える。この事故報告書から、事故原因とされている事項をホワイトボード上でポストイットを使用して抽出させ、整理させる。

【第5回～6回】グループ内ディスカッション・中間報告書作成（中間報告）
グループでの事故原因調査結果について、グループ内でリーダー、資料作成者、発表者を決めた上でディスカッションを実施させる。なお、中間報告書はパワーポイントで作成させるが、その具体的な作成項目（①事故報告書名、②報告書の執筆者、③報告書の立場、④事故原因）について、説明する。

【第7回～8回】グループディスカッション結果発表、グループ間ディスカッション（中間報告）

グループ内ディスカッション・中間報告書について発表を行い、グループ間で作成した事故原因の差異についてディスカッションを行う。各グループより中間報告書を提出させる。

【第9回】講義

どういう能力を身に付けていれば、事故あるいは被害の拡大を防止することができるのか、福島第一原子力発電所事故以外の事故（例：教員が「失敗知識データベース」¹⁴¹から選ぶ）を事例として、具体的な観点（技術者の能力、すな

¹⁴¹ 失敗学会：Web ページ http://www.shippai.org/fkd/lis/hyaku_lis.html, 参照日：2022-6-11

わち(1)先進科学・技術知見, (2)技術思想知識, (3)俯瞰的システム能力, (4)非常想定・対応知見と能力, (5)三現主義遂行能力,) について解説を行う。

【第10～12回】グループ内ディスカッション

各グループで, 第9回で紹介された事故事例を参考に, 第5回～6回で作成したグループでの事故原因調査結果(中間報告書)と比較, 分類を行う。さらに, 福島第一原子力発電所事故において, 事故を防ぐ又は被害拡大防止の観点から, どのような能力が不足していたか, 身につける必要があったか最終報告書をパワーポイント資料で提案, 提出させる。

【第13～14回】グループ内ディスカッション結果発表, グループ間ディスカッション

福島第一原子力発電所事故において, 事故を防ぐ又は被害拡大防止の観点から, どのような能力が不足していたか, 身につける必要があったかについてのグループ内ディスカッションの結果について発表を行い, グループ間ディスカッションを行う。

【第15回】講義

福島第一原子力発電所事故において, 事故防止または被害拡大防止の観点から, どのような能力が不足していたか, 身につける必要があったかについて, グループ内ディスカッション発表, グループ間ディスカッションを踏まえて総括し講義を行う。講義終了後に今後の自身の能力開発の改善点を含めた意見, 感想について個人レポートを提出させる。

①履修要件

1年～2年時における専門科目の履修が完了(又は完了見込)状態であること。本科目履修完了後, 継続して「科学技術コミュニケーション演習」を履修すること。

②成績評価方法

評価については, グループとしての評価(グループ発表: 中間報告書, 最終報告書)に個人としての評価(グループ発表の中での個人の発表や質疑応答状況, 個人レポート等)を加味するものとする。グループ評価60点。個人評価40点。

③教科書, 参考書

- ・東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調)「報告書」2012.7.5
- ・東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調)「最

終報告」2012.7.23

- ・福島原発事故独立検証委員会（民間事故調）「調査・検証報告書」2012.3.11
- ・東京電力（東電事故調）「福島原子力事故調査報告書」2012.6.20

【科目2：科学技術コミュニケーション演習】

①配当学年：3年次，又は4年次

②単位数：2

③開催年度・開講期：毎年度後期

④曜日・時限：年度毎設定

⑤授業形態：講義，グループプロジェクト，グループディスカッション，発表，演習

多分野の観点からの検討を行うため，1グループはできるだけ専門分野の異なる学生6名（標準）から構成する．

⑥使用言語：日本語

⑦概要・目的

技術者，研究者が，公衆へ正しく科学技術リテラシーを伝達することが必要である．そのため，

- (a) 身近な科学技術製品（例：電子レンジ，電磁調理器，燃料電池，ハイブリッド車，GPS等）の仕組みについて，技術者から公衆への伝達
- (b) 公衆の理解が困難な科学技術のリスク（例：遺伝子組換え作物，放射性廃棄物処理，放射線の人体への影響，コロナワクチン接種，自動運転自動車等）についての公衆の懸念点，ニーズ，要望等の把握，さらに技術者から公衆への伝達という科学技術コミュニケーション演習を行う．

公衆の具体的な候補として，①当大学の文科系の学生，②当大学と提携又は交流がある小学校，中学校，高等学校の学生，③テクノロジーカフェに参加する社会人，を対象とする．

⑧到達目標

JABEEの工学教育で不足している技術者の能力，すなわちコミュニケーション応用能力，について，その内容と必要性について，理解する．さらに今後より積極的に自発的に身に付ける姿勢を確立させる．

⑨授業計画と内容

【第1～2回】講義（科学技術コミュニケーション1～2）

科学技術コミュニケーションの変遷，必要性，内容について，以下の通り講義を行う．

- ①科学技術コミュニケーションの発祥と変遷
- ②科学技術コミュニケーションの目的
- ③科学技術コミュニケーションの必要性
- ④科学技術コミュニケーションにおける技術者の責任.

【第3回】グループプロジェクトのガイダンス（公衆への科学技術リテラシー伝達演習の計画策定）

グループプロジェクトの実施について、進め方のガイダンスを行う。

グループで伝達演習の対象を一つ選び、公衆への科学技術リテラシー伝達演習の実実施計画（役割分担，スケジュール，対象技術）を策定する。各回で演習毎に役割分担（発表者1名，評価者兼発表準備者（資料作成者）6名全員，アンケート分析者1名）を決定する。

(a) 身近な技術製品（例：電子レンジ，電磁調理器，燃料電池，ハイブリッド車，GPS等）の技術の仕組みについて，次回講義までに，全員が発表準備者として伝達演習のために必要な事前の技術情報調査（技術の仕組みを説明するのに必要な情報調査）と発表準備資料作成を行う。

【第4回】グループプロジェクト（公衆への科学技術リテラシー伝達演習の事前準備）

全員が発表準備者として，伝達演習のために必要な事前の技術情報調査と発表準備資料を提出する。これをもとに，全員で（【第5回】予行伝達演習1）発表用の資料を作成する。

また，以下 (a) (b) のテスト，アンケートを作成する。

- (a) 知識伝達度テスト実施（公衆にどれだけ知識が伝達されたか，例えば伝達前後に実施する正誤テストで伝達度を評価する）
- (b) アンケート実施（公衆の主観的な理解のし易さをアンケートで評価する）

【第5回】予行伝達演習1

(a) 身近な技術製品の仕組み，について計画に基づきグループ内（学生原則6名）で予行伝達演習を行う。

予行伝達演習の開始前と終了後に，知識伝達度テストを実施する。

アンケートはグループ内で実施する。

その結果について，アンケート分析者により分析を行う。分析結果を踏まえ，グループ全員でディスカッションを行い，第6回へ向けて改善点を抽出しそ

の対策を反映する。

【第6回】 予行伝達演習 2

第5回でのグループ内予行伝達演習1の結果，改善された伝達内容に基づき，グループ間で再度予行伝達演習を行う。さらに，グループ間で実施された他グループからのテスト結果とアンケート結果について，分析を行い伝達内容の改善を行う。

【第7回】 本番伝達演習 1

2回の予行伝達演習の結果に基づく課題・改善対策を踏まえ，本番伝達演習を行う。複数グループの伝達演習を同一日に一連のプログラムで実施するというテクノロジーカフェ型式を採用する等，多くの公衆が参加し易い方式とする。テストは同じ内容を伝達演習の前後で実施する。アンケートは伝達演習後に実施する。本番伝達演習における最終発表資料を提出させる。

【第8回】 本番伝達演習 1のグループ内結果報告・ディスカッション

伝達演習の結果について，グループ内報告会で報告を行い，公衆への科学技術リテラシー伝達にあたっての課題を抽出するとともにその対策を検討する。テストでは，演習前後での知識伝達度の変化により伝達演習の効果を測定するとともに，変化の要因について分析しまとめる。アンケートでは，主観的な理解のし易さにより伝達の効果を分析しまとめる。

【第9回】 グループプロジェクト（公衆への科学技術リテラシー伝達演習の計画策定）

b) 公衆の理解が困難な科学技術のリスク，について講師が一般的な解説を行った後，文献候補を指定する。各グループで伝達演習の対象を一つ選び，次回講義までに，全員が発表準備者として，伝達演習のために必要な事前の技術情報調査（文献調査含む）と発表準備資料を提出する。役割分担（発表者1名，評価者兼発表準備者（資料作成者）6名，アンケート分析者）を決定する。

【第10回】 予行伝達演習 3

第9回に策定した計画に基づきグループ内で予行伝達演習を行う。予行伝達演習の開始前と終了後に，知識伝達度テストを実施する。アンケートは予行伝達演習後にグループ内で実施する。その結果について，アンケート分析者により分析を行う。分析結果を踏まえ，

グループ全員でディスカッションを行う。第 11 回へ向けて改善点を抽出しその対策を反映する。

【第 11 回】 予行伝達演習 4

第 10 回でのグループ内予行伝達演習 3 の結果、改善された伝達内容に基づき、グループ間で再度予行伝達演習を行う。さらに、グループ間で実施された他グループからのテスト結果とアンケート結果について、分析を行い伝達内容の改善を行う。

【第 12 回】 本番伝達演習 2

2 回の予行伝達演習の結果の課題・対策を踏まえた本番伝達演習を行う。本番伝達演習 1 と同様に、複数グループの伝達演習を同一日に一連のプログラムで実施するという型式を採用する等、多くの公衆が参加し易い方式とする。テストは同じ内容を伝達演習の前後で実施する。アンケートは伝達演習後に実施する。本番伝達演習における最終発表資料を提出させる。

【第 13 回】 本番伝達演習 2 のグループ内結果報告・ディスカッション

本番伝達演習の結果について、グループ内報告会で報告を行い、公衆への科学技術リテラシー伝達にあたっての課題を抽出するとともにその対策を検討する。本番伝達演習 1 と同様、テストでは、演習前後での知識伝達度の変化により伝達演習の効果を測定するとともに、変化の要因について分析しまとめる。アンケートでは、主観的な理解のし易さにより伝達の効果を分析しまとめる。

【第 14 回】 本番伝達演習 2 のグループディスカッション発表、グループ間ディスカッション

各グループの代表者全員が順番に、本番伝達演習 2 のグループ内ディスカッション結果（テスト結果、アンケート結果、公衆への科学技術リテラシー伝達にあたっての課題と対策）についてパワーポイント資料で発表を行い、グループ間でディスカッションを行う。

【第 15 回】 最終個人レポートの作成

科学技術コミュニケーションを上手く行うために、アンケート分析結果も踏まえて、今後の自身の能力開発の改善点を含めた意見、感想について個人レポートを提出させる。

（レポート課題）

今回の科学技術コミュニケーション演習を通じて、以下について述べよ。

- (1) コミュニケーションが上手くできた点とできなかった点、その理由を述べよ。
 - (2) 今回の演習であらたに気づいた点を述べよ。
 - (3) 今後の改善点と改善計画について述べよ(含む時期と方法)
 - (4) その他意見、感想を述べよ
- ((1)～(4)全体で 1000 字以内)

①履修要件

1年～2年時における専門科目の履修が完了(又は完了見込)状態であること。
「技術災害事例研究」の履修が完了(又は完了見込)状態であること。

②成績評価の観点

評価については、グループとしての評価(グループ発表：2回の本番伝達演習資料とテスト、アンケート結果)に個人としての評価(グループ発表の中での個人の発表、質疑応答状況、個人レポート)を加味するものとする。

グループ評価 60 点、個人評価 40 点。

第7回及び第12回本番伝達演習前後での聴衆の理解力向上分を評価する。

③教科書・参考書

- ・各技術についての技術文献等

これからの工学教育が涵養すべき技術者の能力については、学習の達成度の評価方法としルーブリック評価を導入し、毎年達成度を評価することを提案する(表5-2)。ルーブリックとは、学習の達成度を表を用いて測定する評価方法であり、学習項目毎に達成度を測定、評価できるという利点がある。表5-2の新規科目の2つの授業の他を含めたカリキュラム全体のルーブリック¹⁴²を提案する。これにより JABEE の工学教育で不足している技術者の能力を個人単位で、項目毎に測定・評価が可能となる。

¹⁴² ダネル・スティーブンス+アントニア・レビ「大学教員のためのルーブリック評価入門」玉川大学出版部、2014年 を参考に作成した。

表 5-2 カリキュラム全体のルーブリック

	項目	優秀	良	要学習
1	先進科学・技術知見	①具体的な事例について、理解し、説明することができる。 ②その科学技術的、社会的な意義・内容、今後の展望について、理解し、説明することができる。	①具体的な事例について、一部理解し、説明することができる。 ②その科学技術的、社会的な意義・内容、今後の展望について、一部理解し、説明することができる。	①具体的な事例について、理解し、説明することができない。 ②その科学技術的、社会的な意義・内容、今後の展望について、理解し、説明することができない。
2	技術思想知識	①具体的な事例について、理解し、説明することができる。 ②新たな技術について、技術思想を設定することができる。	①具体的な事例について、一部理解し、説明することができる。 ②新たな技術について、一部技術思想を設定することができる。	①具体的な事例について、理解し、説明することができない。 ②新たな技術について、技術思想を設定することができない。
3	俯瞰的システム能力	①具体的な事例について、理解し、説明することができる。 ②新たな技術について、システム全体を俯瞰し、総合的評価・管理・判断することができる。	①具体的な事例について、一部理解し、説明することができる。 ②新たな技術について、一部システム全体を俯瞰し、総合的評価・管理・判断することができる。	①具体的な事例について、理解し、説明することができない。 ②新たな技術について、システム全体を俯瞰し、総合的評価・管理・判断することができない。
4	非常想定・対応知見と能力	①具体的な事例を通じて、理解し、説明することができる。 ②非常時に関連する非常用装置及び非常時対応手順を理解、運用することができる。	①具体的な事例を通じて、一部理解し、説明することができる。 ②非常時に関連する非常用装置及び非常時対応手順を一部理解、運用することができる。	①具体的な事例を通じて、理解し、説明することができない。 ②非常時に関連する非常用装置及び非常時対応手順を理解、運用することができない。
5	三現主義遂行能力	①具体的な事例について、理解し、説明することができる。 ②新たな現場で、三現主義を適用、運用することができる。	①具体的な事例について、一部理解し、説明することができる。 ②新たな現場で、一部三現主義を適用、運用することができる。	①具体的な事例について、理解し、説明することができない。 ②新たな現場で、三現主義を適用、運用することができない。
6	コミュニケーション応用能力	①公衆の理解が困難な科学技術について、明確に理解・認識している。 ②工夫を入れた視覚的なプレゼンテーション資料で適切なタイミングで表示・発表することができる。 ③大きな、明瞭で、適切なテンポの声で、身振り等を取り入れながら、聴衆を引き込むよう発表している。	①公衆の理解が困難な科学技術について、一部理解・認識している。 ②プレゼンテーション資料の工夫が不十分である。又は表示・発表のタイミングが不適切である。 ③以下のいずれかができておらず聴衆を十分に引き込んだ発表となっていない。 ・大きな、明瞭で適切なテンポの声。 ・身振り等の取り入れ	①公衆の理解が困難な科学技術について、理解・認識していない。 ②プレゼンテーション資料が不使用、又は不十分である。 ③以下ができておらず、聴衆を引き込んだ発表となっていない。 ・大きな、明瞭で適切なテンポの声。 ・身振り等の取り入れ

第VI章 技術者制度改善案の提案

大学における工学教育の改善により、これからの工学教育に求められる技術者の能力を身に付けることが可能となる。さらに、引き続き、卒業後の社会でのある一定レベルの質を保証された技術者教育と、その内容を適時改善・運用する制度との両立が必要となる。特に JABEE の認定基準で不足している技術者の能力については、技術者として、大学卒業、修了後も継続して研鑽すると同時に、その推進のための支援が必要不可欠である。

なお、技術者制度の改善策の先行研究として、比屋根均「日本の技術者制度変革の停滞と混乱～その問題分析と解決策の提示～」(2015. 3) が提案されている。そこでは、「日本の技術者制度の問題点」について、「倫理要求」「問題解決人材要求」「グローバル化対応の制度整備要求」という3つの要求を満たす変革であったという第1の特徴と、この変革が米国の制度に倣って急速に行われたが故に、その制度がどのように機能するものかについて理解不十分なまま中途半端に制度整備がなされたという第2の特徴に着目することによって、この変革の停滞と混乱の問題を解明し、解決策を提示しようとするもの¹⁴³である。

それに対し、本研究では、特に、科学技術の巨大化・総合化・複雑化、および不確実性下という、複数の実際の代表的な事例分析に基づき、より実証的で実用的な手法を用いて、工学教育と技術者制度のあり方について、提案を行うものである。

高校教育と大学教育の円滑な接続、いわゆる「高大接続」の重要性はつとに強調されているが、さらに大学教育と卒業後の社会での技術者教育を円滑に接続し、その教育内容を充実させることが必要である。

さらに、それを実現できる環境づくり、制度づくりが必要であり、そのためには、継続研鑽を含む技術者制度全体の改善が必要不可欠である。

技術者制度の改善策を検討するにあたり、日本における代表的な専門技術者制度である技術士制度、海外の技術者制度の代表事例として、日本の技術士制度のモデルとなった米国 Professional Engineer (PE) 制度と英国 Chartered Engineer (CEng) 制度を取り上げ、その内容、特徴を整理する。

まず、資格を取得し維持するための、教育と実務経験、資格登録、継続研鑽 (CPD : Continuing Professional Development (CPD という))、資格更新、協会への加入、という観点から、技術士制度と米国 PE 制度と英国 CEng との比較を行う。

¹⁴³比屋根均「日本の技術者制度変革の停滞と混乱～その問題分析と解決策の提示～」2015

そして、社会でプロフェッショナルエンジニア（技術士）となる段階での技術者に焦点をあて、技術者制度の改善策について、

(1) 技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）の改善、
という教育面だけではなく、

(2) 技術士試験の改善

(3) 日本技術士会への加入促進

(4) 資格更新制度

(5) 継続研鑽（CPD）の改善

という環境面や制度面という観点からも、技術者制度改善案の提案を行う。

VI-1. 日本の技術者制度について

「技術士制度」とは、「科学技術に関する技術的専門知識と高等の応用能力及び豊富な実務経験を有し、公益を確保するため、高い技術者倫理を備えた優れた技術者」の育成を図るための国による資格認定制度(文部科学省所管)である¹⁴⁴。

日本技術士会 Web ページによれば「第二次世界大戦後、荒廃した日本の復興に尽力し、世界平和に貢献するため、「社会的責任をもつて活動できる権威ある技術者」が必要になり、米国のコンサルティングエンジニア制度を参考に「技術士制度」が創設された。」¹⁴⁵とされている。

1951 年日本技術士会が発足した。日本技術士会は、技術士制度の普及や啓発を図ることを目的とし、技術士法により明示された国内唯一の技術士による社団法人である。2011 年 4 月 11 日に公益社団法人となった¹⁴⁶。

技術士法は、技術士等の資格を定め、その業務の適正を図り、もって科学技術の向上と国民経済の発展に資することを目的として 1957 年 5 月 20 日に制定された。「技術士」は、「技術士法」により高い技術者倫理を備え、継続的な資質向

¹⁴⁴ 日本技術士会：Web ページ、

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 参照日：2018-12-18

¹⁴⁵ 日本技術士会：Web ページ、

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 参照日：2018-12-18

¹⁴⁶ 日本技術士会：Web ページ、

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 参照日：2018-12-18

上に努めることが責務とされている¹⁴⁷。

日本技術士は、技術士さらには技術者の社会的地位の向上と広い社会貢献を目的として、以下を実施している¹⁴⁸。

- (1) 技術士の CPD（継続研鑽）に関する事務を実施している。
- (2) 官公庁・地方自治体・海外業務関係機関などを対象として組織的に技術士の活用促進を図っている。
- (3) 技術士法に基づく文部科学大臣の指定試験機関及び指定登録機関として国に代わって技術士試験の実施及び技術士の登録などの業務を行っている¹⁴⁹。

技術士は、21 の技術部門にわたり、高等の専門的応用能力を必要とする事項についての計画、研究、設計、分析、試験、評価又はこれらに関する指導の業務の分野で活躍している（技術士法第 2 条）。技術士の登録者は 97,251 名、そのうち日本技術士会の会員は、15,823 名である（2022 年 3 月 31 日現在）¹⁵⁰。

技術士制度はこのように、産業界や官界から強い要請のもとに制定されたが公共事業などの一部の分野を除いて産業界、特に企業組織内で十分な評価が得られていない。

日本の技術士資格は名称独占資格であり、例えば国土交通省より公共事業を行う際、技術士が必要なケースもあり、また技術士資格の公的活用、および他の公的資格取得の際の特典はあるが、業務独占資格ではない¹⁵¹。

日本の技術士制度では、大学 JABEE 課程修了、又は技術士 1 次試験合格後、一定期間の実務経験を経て、技術士 2 次試験（筆記・口頭試験）を受験、合格後、技術士資格登録という手順となる。しかし、資格取得後、資格継続のための CPD、資格定期更新が必須化されておらず、現時点で必要とされている資質能力を有しているか担保されていない¹⁵²。また日本技術士会への加入も義務づけられておらず、その加入率も 16.2% と低い状態である（2022 年 3 月 31 日現在）。

¹⁴⁷ 文部科学大臣指定試験・登録機関公益社団法人日本技術士会「技術士制度について」, pp.1-28, 2021

¹⁴⁸ 日本技術士会：Web ページ

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 参照日：2021-10-11

¹⁴⁹ 日本技術士会：Web ページ,

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 参照日：2021-10-11

¹⁵⁰ 日本技術士会：Web ページ,

https://www.engineer.or.jp/c_topics/001/attached/attach_1166_9.pdf, 参照日：2022-7-2

¹⁵¹ 杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博「大学講義 技術者の倫理 学習要領」丸善, pp.145-165, 2008

¹⁵² 公益社団法人日本技術士会「技術士制度改革について（提言）（中間報告その 2）」,

昭和 32 年に技術士法が制定された。それ以来、経済社会情勢や国際環境の変化などを踏まえ、1983 年、2000 年の同法大幅改定を経て 60 年が経過した。この間、国内経済や産業社会の中で技術士制度は一定の役割を果たしてきた。しかし、産業構造、経済構造、社会ニーズや国際的な環境が大きく変化する中で、技術士制度の活用促進が必要で、技術士制度はどうあるべきか、目指すべき方向性が問われている。

VI-2. 「技術士に求められる資質・能力」の現状

技術士は「科学技術に関する高等の専門的応用能力を必要とする事項についての計画、研究、設計、分析、試験、評価又はこれらに関する指導の業務を行う者」（技術士法）と定義されている。科学技術・学術審議会技術士分科会¹⁵³では

¹⁵³ 科学技術・学術審議会技術士分科会（分科会長：小縣 方樹（東日本旅客鉄道株式会社取締役副会長）の委員は以下の通りであり、技術士に限定されず、広く産学官の各界の有識者から構成されている。

【科学技術・学術審議会技術士分科会 委員名簿¹⁵³】

文部科学省：Web ページ、技術士分科会 委員名簿

https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu7/meibo/1412009.htm, 参照日：2021-9-18

◎印は分科会長，○印は分科会長代理，■印は技術士資格保有者

委員	◎小縣 方樹	東日本旅客鉄道株式会社取締役副会長
	岸本 喜久雄	東京工業大学名誉教授，国立教育政策研究所フェロー
	鈴木 桂子	神戸大学海洋底探査センター教授
臨時委員	天野 玲子	国立研究開発法人防災科学技術研究所審議役
	伊丹 光則	内外エンジニアリング株式会社取締役副社長
	■岩熊 眞起	株式会社東京建設コンサルタント環境モニタリング研究所技師長
	奥野 晴彦	一般社団法人関東地域づくり協会理事長
	風間 ふたば	山梨大学大学院総合研究部教授
	川上 紀子	東芝三菱電機産業システム(株)パワーエレクトロニクスシステム事業部技監
	酒井 伸一	京都大学環境安全保健機構附属環境科学センター・教授
	塩原 亮一	株式会社日立製作所電力ビジネスユニット技師長
	■高木 茂知	公益社団法人日本技術士会会長
	高橋 重雄	一般財団法人沿岸技術研究センター代表理事・理事長
	土井 美和子	国立研究開発法人情報通信研究機構監事
	中谷 多哉子	放送大学教養学部情報コース教授
	西田 直人	株式会社東芝 特別嘱託 (Fellow)
	前田 秀一	東海大学工学部光・画像工学科教授
	松嶋 智子	職業能力開発総合大学校教授・電子計算機室長
	吉村 隆	一般社団法人日本経済団体連合会産業技術本部長

「そのために技術士に求められる資質能力は明確に、また具体的に定められていない。その際に技術士資格の国際的通用性を確保するという観点から、国際エンジニア連合（IEA：International Engineering Alliance（IEAという）の「専門職として身に付けるべき知識・能力」（PC：Professional Competencies）を踏まえることが重要である」¹⁵⁴とされている。

また、この科学技術・学術審議会技術士分科会では、2012年6月から2013年1月まで審議を行い「今後の技術士制度の在り方について」¹⁵⁵の中で、「技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）」について、IEAのPCを踏まえながら、以下の通り、6つの項目(a)～(g)を定め、各々の項目において、技術士であれば最低限備えるべき資質能力を定めている。

技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）について、国際エンジニアリング連合（IEA）の「専門職としての知識・能力」（プロフェッショナル・コンピテンシー，PC）を踏まえながら、以下の通り、キーワードを挙げて示す。これらは、別の表現で言えば、技術士であれば最低限備えるべき資質能力である。技術士はこれらの資質能力をもとに、今後、業務履行上必要な知見を深め、技術を修得し資質向上を図るように、十分な継続研さん（CPD）を行うことが求められる。

【技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）】

(a) 専門的学識

- ・技術士が専門とする技術分野（技術部門）の業務に必要な、技術部門全般にわたる専門知識及び選択科目に関する専門知識を理解し応用すること。
- ・技術士の業務に必要な、我が国固有の法令等の制度及び社会・自然条件等に関する専門知識を理解し応用すること。

(b) 問題解決

- ・業務遂行上直面する複合的な問題に対して、これらの内容を明確にし、調査し、これらの背景に潜在する問題発生要因や制約要因を抽出し分析すること。

（※敬称略，五十音順）

¹⁵⁴ 文部科学省科学技術・学術審議会技術士分科会「今後の技術士制度の在り方について」，pp.1-16，2016

¹⁵⁵ 文部科学省科学技術・学術審議会技術士分科会「今後の技術士制度の在り方について」，pp.1-16，2016.

- ・複合的な問題に関して、相反する要求事項（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）、それらによって及ぼされる影響の重要度を考慮した上で、複数の選択肢を提起し、これらを踏まえた解決策を合理的に提案し、又は改善すること。

(c) マネジメント

- ・業務の計画・実行・検証・是正（変更）等の過程において、品質、コスト、納期及び生産性とリスク対応に関する要求事項、又は成果物（製品、システム、施設、プロジェクト、サービス等）に係る要求事項の特性（必要性、機能性、技術的実現性、安全性、経済性等）を満たすことを目的として、人員・設備・金銭・情報等の資源を配分すること。

(d) 評価

- ・業務遂行上の各段階における結果、最終的に得られる成果やその波及効果を評価し、次段階や別の業務の改善に資すること。

(e) コミュニケーション

- ・業務履行上、口頭や文書等の方法を通じて、雇用者、上司や同僚、クライアントやユーザー等多様な関係者との間で、明確かつ効果的な意思疎通を行うこと。
- ・海外における業務に携わる際は、一定の語学力による業務上必要な意思疎通に加え、現地の社会的文化的多様性を理解し関係者との間で可能な限り協調すること。

(f) リーダーシップ

- ・業務遂行にあたり、明確なデザインと現場感覚を持ち、多様な関係者の利害等を調整し取りまとめることに努めること。
- ・海外における業務に携わる際は、多様な価値観や能力を有する現地関係者とともに、プロジェクト等の事業や業務の遂行に努めること。

(g) 技術者倫理

- ・業務履行上、関係法令等の制度が求めている事項を遵守すること。
- ・業務履行上行う決定に際して、自らの業務及び責任の範囲を明確にし、これらの責任を負うこと。
- ・業務遂行にあたり、公衆の安全、健康及び福利を最優先に考慮した上で、社会、文化及び環境に対する影響を予見し、地球環境の保全等、次世代に渡る社会の

持続性の確保に努め、技術士としての使命、社会的地位及び職責を自覚し、倫理的に行動すること。

以上、「技術士に求められる資質能力」については、2014年3月7日に、科学技術・学術審議会技術士分科会により制定され、その後公益社団法人日本技術士会では、2014年度第1回理事会（2014年度5月9日開催）にて上程され正式に制定されることとなった。

技術士第二次試験では、受験者がこれらの資質能力を備えているかどうかについて、筆記試験と口頭試験を通じて確認を行っている。

VI-3. 海外の技術者制度について

海外の技術者制度においては、技術者資格認定に関して、国家の行政機関による規制を行う米国方式と、非政府である技術者団体の自治による規制を行う英国方式に大別することができる^{156,157}。日本の技術者教育を含めた技術者制度の改善策を検討するにあたり、海外の技術者制度の代表事例として、日本の技術士制度のモデルとなった米国専門技術者（PE：Professional Engineer（以下PEという）制度と英国専門技術者（CEng：Chartered Engineer（以下CEngという）制度を取り上げる。

VI-3-1. 米国 PE 制度と NSPE について

(1) 米国 PE 制度の歴史と概要

米国 PE 制度は、「エンジニアは建築物に対する公共の安全・人命尊重・社会の福祉に奉仕すべき」という考えを基に、1907年に米国のワイオミング州で創設、立法され、その後全米各州に普及拡大した¹⁵⁸。

20世紀初期、ワイオミング州において、土地帰属に関する地図や図面の作成業務において、不正確な地図作成や意図的な図面歪曲などによるトラブルが発生していた。そこで1907年、ワイオミング州で専門職としての技術業や測量業

¹⁵⁶ NSPE：Web ページ，<https://www.NSPE.org/>，参照日：2021-10-11

¹⁵⁷ 杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博「大学講義 技術者の倫理 学習要領」丸善，pp.145-165，2008

¹⁵⁸ NSPE：Web ページ，<https://www.NSPE.org/resourCEngs/IICEngnsure/what-PE>，参照日：2021-10-11

を登録づける PE 制度が創設された。その後各州で創設されていき、1947 年最後の州のモンタナ州まで、20 世紀前半に全米に普及した。また、テキサス州では 1937 年不適切な設備機器による学校ガス爆発事故、死者 298 人の惨事が契機となり、その年のうちに PE 制度が創設された^{159,160}。

PE 制度が対象としている技術分野は土木、化学、電気、機械、環境など 25 部門から構成されている。現在では全米 50 州とワシントン DC および 3 つの自治領（グアム、プエルトリコ、バージンアイランド）それぞれが発行する州 PE 資格のみが存在する。PE 制度は各州政府の法律に基づいて運営されており、学歴、技術試験の基本要件は全米共通であるが、学歴以外の受験資格や登録条件は州によって多少異なる¹⁶¹。

また、米国 PE 資格は、北米、欧州、東南アジア各国との相互認証が進んでおり、国際的にも評価され、米国の PE 資格取得者は約 80 万人に達している¹⁶²。

アメリカ合衆国憲法修正第 10 項では「憲法が規定しない限り、いかなる権力も連邦ではなく州に属する」と規定されており、医師、弁護士、公認会計士などの職業資格も連邦政府ではなく各州政府が交付する。各州政府が交付するメリットとして、以下の二点を挙げることができる¹⁶³。

- ①土木・建設や資源分野など各地域の特性に合致した資格条件を設定するのが望ましい技術分野については州ごとに独自に特色のある条件を設定することができる。
- ②社会ニーズなどに合わせて、州単位で新しい資格条件や運営方式を柔軟に整備、運用することができる。

逆に、資格交付が各州に限定されていることには以下のようなデメリットもある¹⁶⁴、

- ①連邦レベルでの資格とした方が効率的な技術分野（例えば原子力）についても、

¹⁵⁹ NSPE : Web ページ,

<https://www.NSPE.org/resourCEngs/IICEngnsure/why-PEs-matter>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶⁰ 杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博「大学講義 技術者の倫理 学習要領」丸善, pp.145-165, 2008

¹⁶¹ NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/resourCEngs/PE-institute>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶² NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶³ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.3-5, 2014

¹⁶⁴ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.3-5, 2014

州が変わる度に新たに PE 登録する必要がある。

②原子力や航空宇宙分野など連邦レベルで実施される公共事業において PE 資格を要求できなくなる。

PE 資格は、所定の工学教育と工学実務経験を経て、所定の一次試験 (FE:Fundamentals of Engineering Examination:工学基礎試験) 7 分野)、二次試験 (PE:Principles and Practice of Engineering Examination:工学原理および実務試験) 25 分野) 及び、各州の PE 法・技術・倫理試験に合格した個人に対して、各州政府に任命された PE ボードが認定・登録し、その個人にのみ技術業務を認めるという制度である^{165, 166, 167}。

各州には、「PE ボード」と呼ばれる州内の PE と一般市民から構成される州資格登録局が設置され、一次試験・二次試験受験申請の審査、PE 登録・更新申請の審査、などを業務としている。このような州毎の PE 制度に対し、全米の団体により、例えば大学での工学教育、PE 試験、実務倫理規範、PE ボードの運営など、各側面から州間標準化が進められてきている¹⁶⁸。

全米の団体とは、以下の 3 つの団体、すなわち、全米技術試験協議会 (NCEES : National Council of Examinations for Engineering and Surveying)、全米工学技術教育認定ボード (ABET : Accreditation Board for Engineering and Technology)、全米 PE 協会 (NSPE:National Society of Professional Engineer) である。

このうち、NSPE は全ての専門分野の PE の職務上の課題に取り組む唯一の全国組織として、1934 年に設立された。NSPE は、PE 資格を分野ごとに発散させないことを目的とし、そのために、各技術分野における教育、免許制度の推進、研修などを通じて、技術者倫理 (Engineering Ethic) を確立した。さらに、倫理的・専門技術能力の向上、社会に奉仕する資格のある専門技術者の育成、さらに技術者の地位向上を図ることを推進している^{169, 170}。

¹⁶⁵ NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/resourCEngs/IICEngnsure/what-PE>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶⁶ NSPE : Web ページ, <https://www.jsPE.org/what-is-PE/#title02>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶⁷ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.1-25, 2014

¹⁶⁸ NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/>, 参照日 : 2021-10-11

¹⁶⁹ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.1-25, 2014

¹⁷⁰ NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/resourCEngs/IICEngnsure/what-PE> ,

さらに1946年に「NSPE Code of Ethics (倫理規程)」が制定された。そして1954年には、医師に対する「ヒポクラテスの誓い」と同様、Code of Ethicsの真髓を抜き出した技術者にとっての短い声明文「Engineers' Creed (技術者の信条)」が制定された。

NSPEのウェブサイト¹⁷¹では、以下のように記載されている。

PEとエンジニアの違いは何か？

- PEは資格を取得している州に応じて、継続的な教育要件を満たすことにより、継続的に能力を発揮し、技能を維持し向上させる必要がある。
- 資格のあるエンジニアのみが、承認を得るためにエンジニアリング計画と図面を公的機関に提出したり、公的および民間の顧客のためにエンジニアリング作業を承認することができる¹⁷²。
- PEは、自分の仕事だけでなく、その仕事によって影響を受ける他の人の生活にも責任を負い、高い倫理基準の実践を維持する必要がある¹⁷³。
- コンサルティングエンジニアまたは民間の開業医の免許は、単に望ましいものではない。これは、社長であっても従業員であっても、責任を持って仕事をす人にとっての法的要件である。
- 政府で働いているエンジニアにとってライセンスはますます重要になっている。多くの連邦、州、および地方自治体の機関では、特定の政府のエンジニアリング職、特により高いレベルで責任あると見なされる職位には、資格のあるPEが担当する必要がある¹⁷⁴。
- 多くの州では、工学を教える個人にも免許が必要である。州法を免除することは批判されており、将来的には、産業界のエンジニアや政府で働くエンジニアだけでなく、教育界で働くエンジニアも実践するにはライセンスが必要になるかもしれない。また、ライセンスは、教育者が学生に将来の技術業におけるキャリアを準備するのに役立つ。

参照日：2021-10-11

¹⁷¹ NSPE：Web ページ，<https://www.NSPE.org/resourCEngs/lICEngnsure/what-PE>，
参照日：2021-10-11

¹⁷² NSPE；Web ページ，<https://www.NSPE.org/resourCEngs/lICEngnsure/what-PE>，
参照日：2021-10-11

¹⁷³ NSPE：Web ページ，<https://www.NSPE.org/resourCEngs/lICEngnsure/what-PE>，
参照日：2021-10-11

¹⁷⁴ NSPE：Web ページ，<https://www.NSPE.org/resourCEngs/lICEngnsure/what-PE>，
参照日：2021-10-11

すなわち、PE とそれ以外の技術者は明確に区別されており、例えば、米国の公共工事の契約書、許認可申請を行う際の計画書や図面には PE の署名が必要であり、PE 以外の技術者による業務を制限している。このように、米国の PE は、PE 登録されると、特定の技術業務を行う権利が与えられる一方、各州法の実務規範 (Rules of Professional Conduct) を遵守する義務が発生する。そして、違反した場合は各州 PE ボードの裁定により、罰金、資格停止、除籍、資格取消などの処分が実際に科せられる¹⁷⁵。

(2) PE 資格の取得手順

PE 資格を取得し維持するには、次のように 8 つの手順がある¹⁷⁶¹⁷⁷。

【教育と実務経験】

- ① ABET の認証を受けた 4 年制大学の工学教育プログラムを修了
- ② FE 試験に合格
- ③ 4 年の技術実務経験、業務経験の内容を保証する 5 名の推薦状

【PE 資格登録】

- ④ PE 試験に合格
- ⑤ 各州の PE 法や技術者倫理に関する試験に合格
- ⑥ 各州 PE ボードに PE として登録

【継続研鑽 (CPD : Continuing Professional Development)】

- ⑦ 専門能力開発時間 (PDH : Professional Development Hours) 単位を蓄積 (PDH : CPD 時間)

【PE 資格更新】

- ⑧ PE 資格の定期更新

すなわち、PE は一般エンジニアと違い、PE には以下の要件が求められていると考えられる。

- ・ 所定の工学教育と一般技術知識を保持する (①, ②) 」
- ・ PE は専門的技術能力、実践的問題解決能力を保持する (②, ③, ④)
- ・ PE こそが真のエンジニアリング業務を社会に提供することができる (⑥)
- ・ 資格取得後も専門性の継続的向上を図り、自己研鑽を行う (⑦, ⑧)

¹⁷⁵ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.1-25, 2014

¹⁷⁶ <https://www.NSPE.org/resourCEngs/IICEngnsure/what-PE>

¹⁷⁷ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.1-25, 2014

・雇用主の規定を遵守するとともに、PE として関連法規や実務規範・倫理基準を最優先する (⑤)

現行の日本の技術士資格をはじめ、医師、弁護士など多くの日本の資格と違って、米国の資格は一定年数ごとに更新を必要とするものが多い。PE については、制度発足時より資格の定期更新は必須であったが、その要件は「更新料を納めること」のみであった。ところが、1970 年代に入り、消費者運動により PE などの職業資格について、更新時に資質能力を確認するよう圧力がかかり、1978 年アイオワ州で最初に CPD が追加された。取得した PE 資格は、通常 2 年に一度更新手続きを行う必要があり、その際 1 年あたり 15 時間以上の PDH を取得していることが求められる。ただし、州により資格更新時に要求する CPD 認定基準、PDH 時間数は異なる^{178, 179}。

VI-3-2. 英国 CEng 制度について

(1) 英国 CEng 制度の歴史と概要

英国では、18 世紀の半ばの産業革命における蒸気機関や鉄道の誕生に伴い、機械技術者が誕生した。また、18 世紀半ばから後半にかけて、道路、橋梁、河川等に関する土木工事に対応するため土木技術者が誕生した。そして、それらに関するコンサルタント等として業務を行うことにより、プロフェッションとしての技術者が誕生し、1818 年土木技術者協会が設立された。その後の工業化の進展により各種のプロフェッションが誕生し、その資格、教育、規則等を管理することが必要となった¹⁸⁰。

英国では、通常、専門職団体 (Professions Organization)、例えば土木技術者協会、機械技術者協会の会員資格を取得することが、当該専門職、プロフェッションとして社会的に認知されるための途となっている¹⁸¹。その結果として、技術者について、プロフェッションとしての技術者と非プロフェッションとしての技術者が共存することになったが、非プロフェッションの技術者の実務を制限することも、技術者の名称使用を制限することもしなかった¹⁴⁶。

¹⁷⁸ NSPE : Web ページ, <https://www.NSPE.org/resourCEngs/lICEngnsure/what-PE>,
参照日 : 2021-10-11

¹⁷⁹ NPO 法人日本プロフェッショナル・エンジニア協会「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」, pp.1-25, 2014

¹⁸⁰ 村岡健次「ヴィクトリア時代の政治と社会」(ミネルヴァ書房 1996) pp.230-242

¹⁸¹ 広瀬 信「イギリスにおける技術者養成の歴史的展開」教育学研究」第 52 巻 第 1 号, pp.112-121, 1985

英国の技術者団体は、国王による勅許状 (Royal Charter) により設立され、国家権力からの不介入を保証され、自治団体として発展した。そのうち代表的なものであるエンジニアリング協議会 (ECUK: The Engineering Council UK: (ECUK という)) は、1981 年主要な技術者団体を会員として設立された。ECUK は英国土木学会はじめ会員 37 団体にプロフェッショナル・エンジニアの認定の権限を与えている。会員 37 団体のいずれかにより ECUK 基準に基づきプロフェッショナル・エンジニアとしての登録に適すると評価を得た個人会員が、ECUK に申請し、CEng として登録される^{182, 183, 184}。

英国における CEng とは、ECUK: Web ページによれば、革新、創造性、変革を通じて、新規または既存の技術を使用してエンジニアリング問題の解決策を開発したり、リスクの高い複雑なシステムに対して技術的説明責任を持つ技術者¹⁸⁵とされている。また、CEng は、1 年毎の資格更新と協会への加入も義務づけられており、文部科学省によれば、社会の認知度も高く、結果的にある専門分野で重要な事項を決定する場に集まる技術者が全員 CEng 資格保持者ということがあり、実質的に技術的判断場面ではほぼ業務独占となっている¹⁸⁶。

一方、日本においては、個人主義ではなく、集団主義が社会の特徴となっているが、細田¹⁸⁷は「英国では、組織の中における個の位置づけが明確であることが根底にあり、この点が我が国の技術士の位置づけと異なるところであると考えることができる」と述べている。

(2) CEng 資格の取得手順

英国では ECUK で認証された 4 年生大学の工学教育プログラムを終了後、専門技術者協会 (PE I : Professional Engineering Institute) が担当する初期能力開発 (IPD : Initial Professional Development (IPD という)) として 2~4 年間の教育・訓練を受け、口頭試験 (Professional Review Interview) に合格す

¹⁸² 杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博「大学講義 技術者の倫理 学習要領」丸善, pp.145-165, 2008

¹⁸³ 「科学技術に係るモラルに関する調査報告書」(社) 日本技術士会, pp.97-101, 2001

¹⁸⁴ ECUK : Web ページ, <https://www.engc.org.uk/professional-registration/>, 参照日: 2021-10-11

¹⁸⁵ ECUK : Web ページ, <https://www.engc.org.uk/professional-registration/the-professional-titles/chartered-engineer/>, 参照日: 2021-10-11

¹⁸⁶ 文部科学省「国際的通用性検討作業部会検討結果報告」pp.14-27, 2018 年 8 月 20 日

¹⁸⁷ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌, 862 巻, pp.455-457, 2001

れば CEng として登録することができる。CEng 資格取得後は、その時代に必要とされる技術レベルに合わせて自己の資質・能力を維持・向上することが求められており、そのための CPD が義務づけられている^{188, 189, 190}。

CEng 資格を取得し維持するには、具体的に表 6-1 の B1～B6 の手順がある^{191, 192, 193}。

①B1 (米国の A1, A2 に相当) ECUK の認証を受けた 4 年生大学の工学教育プログラム (ECUK 認定課程) を修了

EC が産官学との連携で定めた専門職技術者登録基準 (SARTOR : Standards And Routes To Registration) の規定に基づいて行われる。EC の認証を受けた 4 年生大学の工学教育プログラム (ECUK 認定課程) を修了することが必要である。

②B2 (米国の A3 に相当) 4 年の実務経験と IPD の教育・訓練・指導

その後、4 年間の実務経験と IPD と呼ばれるプログラムによる 2～4 年の教育・訓練・指導が行われ、その記録が必要である。IPD の目的は、CEng として必要な知識の取得、基礎工学理論の実践問題への応用訓練、CEng 登録に必要な責任の遂行訓練、関連学協会からの広範な要望を満たすための能力開発訓練であり、経験が豊富な CEng が教育、訓練・指導にあたる。最終的には CEng と同等の資質・能力を獲得することが求められる^{194, 195}。

③ B3 (米国の A4, A5, A6 に相当) 最終 CEng 認定・審査

37 の技術者団体のいずれかに入会し、その団体会員の推薦が必要となる。第二段階を修了した段階で CEng としての専門的能力、CEng 登録に関する審査が行われる。入会后 CEng としての専門的能力について、Professional Review

¹⁸⁸ 「科学技術に係るモラルに関する調査報告書」(社)日本技術士会, pp.97-101, 2001

¹⁸⁹ ECUK : Web ページ, <https://www.engc.org.uk/professional-development/>, 参照日: 2021-10-11

¹⁹⁰ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌, 862 巻, pp.455-457, 2001

¹⁹¹ 「科学技術に係るモラルに関する調査報告書」(社)日本技術士会, pp.97-101, 2001

¹⁹² ECUK : Web ページ, <https://www.engc.org.uk/professional-registration/>, 参照日: 2021-10-11

¹⁹³ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌, 862 巻, pp.455-457, 2001

¹⁹⁴ ECUK : Web ページ, <https://www.engc.org.uk/professional-registration/the-professional-titles/chartered-engineer/>, 参照日: 2021-10-11

¹⁹⁵ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌, 862 巻, pp.455-457, 2001

Interview で、「IPD によって申請者が CEng として十分な活動するのに必要な能力と責任感を身につけているかどうか」審査される。合格すれば、入会技術者団体より ECUK に CEng として登録される。

④B4 (米国の A7 に相当) CPD

CEng 資格は、資格を維持するために CPD が義務づけられている。

学協会に対しては CEng の CPD を推進・支援・監督することが求められている。種々のコースを提供しておりその中で教育が実施されることになっており、具体的には、講義、現地視察、論文作成、発表、学会への参加、交流等の活動を、関連学協会が支援することが求められている¹⁹⁶。

このように CPD の推進・支援については、米国では NSPE が実施しているのに対し、英国では学協会が実施しているという点で異なる。

⑤B5 (米国の A8 に相当) CEng 資格の定期更新

⑥B6 (米国の A9 に相当) 協会への加入

さらに 1 年毎の資格更新と協会への加入も義務づけられている。

この一連の手順の中で、大学は EC に認証された工学教育プログラムを通じて工学基礎教育を担当し、学協会は工学教育プログラムの認証に際して大学を支援し、更に産業界と協力して技術者の実務訓練を担当する。EC との連携には、主な工学系大学および主な学協会が参画し、このように永年に亘って産・官・学、学協会の緊密な連携が行われていることが大きな特徴である^{197,198}。

表 6-1 米英日 3 か国の技術者資格取得・更新プロセス比較表¹⁹⁹

国	略称	教育と実務家健			PE資格登録			継続研鑽	資格更新	協会加入
		1.大学教育	2.基礎試験	3.経験・教育	4.試験・訓練	5.追加試験	6.登録	7.継続研鑽	8.定期更新	9.協会加入
米国	A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
英国	B	B1		B2	B3			B4	B5	B6
日本	J	J1	J1	J2	J3	J3	J4	J5任意	任意	任意

¹⁹⁶ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌，862 巻，pp.455-457，2001

¹⁹⁷ ECUK：Web ページ，<https://www.engc.org.uk/professional-development/>，参照日：2021-10-11

¹⁹⁸ 細田龍介「英国における技術者資格認定について」日本造船学会誌，862 巻，pp.455-457，2001

¹⁹⁹ VI-3-1 の内容と関連資料をもとに作成した。

VI-4. 日本の技術士制度と、米国 PE 制度、英国 CEng 制度との比較

日本の技術士制度と米国での PE 制度、英国の CEng 制度とを比較すると、以下(1)～(3)の点で異なる。

(1) 日本の技術士資格は名称独占資格であり、業務独占資格ではない

科学技術創造立国政策を推進し、世界的にもリーダーシップを発揮するためには、「技術士等の資格を定め、その業務の適正を図り、もって科学技術の向上と国民経済の発展に資することを目的」（技術士法第1条）として、質の高い技術者を担保すると同時に、質の高い科学技術に関する業務を担保することが必要不可欠である。そのためには、質の高い技術者である技術士の育成を進めると同時に、技術士の業務独占範囲、或いは技術士活用範囲の拡大等を日頃から進めておくことが必要である。

技術士以外の資格のうちには、元来、業務独占資格ではなかったが、その後の社会的な情勢等により業務独占資格となったものもある。例えば、行政書士は、行政書士法に基づく国家資格で、他人の依頼を受け、官公庁へ提出する許認可等に関する申請書類の作成や提出手続代理を行う資格である。これは現在では業務独占資格であるが、かつてはそうではなかった。

この行政書士の前身は1982年の太政官達「司法職務定制」による代書人制度であり、事務所の所在地を所轄する警察官署から許可を受ければ誰でも、市町村役場や警察署等に提出する書類の作成を業とする行政代書人として活動を行っていた。しかし、その書類作成業務能力が十分ではない代書人もいたため、

1951年2月に、行政書士の制度を定め、その業務の適正を図ることにより、行政に関する手続きの円滑な実施に寄与し、あわせて国民の利便に資することを目的（行政書士法第1条）とした「行政書士法」が成立し、現在の業務独占資格である行政書士資格に至っている²⁰⁰。

現在、米国では資格のある技術者のみが責任のある技術業務を行う権利が与えられるというという観点から、業務 PE 資格には、その分野の業務独占権が与えられている。医師、弁護士、公認会計士と同等の地位の資格に位置づけられ、また、専門技術能力とともに、高度の職業倫理観と責任感を備えた社会的に評価

²⁰⁰ 日本行政書士連合会：Web ページ、

<https://www.gyosei.or.jp/information/introduction/consists.html>, 参照日：2021-10-11

された資格と位置づけられている²⁰¹。英国では CEng 資格は、社会の認知度も高く実質的に技術的判断場面ではほぼ業務独占となっている。

一方、日本では技術士資格は、「技術士でないものは、技術士又はこれに類似する名称を使用してはならない」〔技術士法第 57 条第 1 項〕という名称独占資格である。

これは、技術士としての適格者のみに技術士の名称を用いることを認める反面、技術士でない者にはその名称の使用を禁止することにより、技術士制度に対する社会の関心と認識を高めようとするものである²⁰²。すなわち、日本の技術士資格は名称独占資格であるが、法律上技術士でなければできない業務は認められておらず、業務独占資格ではない²⁰³。そのため、資格普及、活用拡大、知名度向上等の促進につながりにくい。ただし、技術士は、国家認定された高度の技術者として、次のような国の諸制度において有資格者と認められ、あるいは資格試験の一部又は全部を免除されている（「技術士制度について」²⁰⁴より）。

A 有資格者として認められているもの（表 6-2）

すなわち、業務独占にはなっていないが、技術士の資格があれば、業務を行うことができるもの

- ① 建設業法の一般建設業及び特定建設業における営業所の専任技術者等
- ② 建設コンサルタント又は地質調査業者として登録する専任技術管理者
- ③ 公共下水道又は流域下水道の設計又は工事の監督管理を行う者
- ④ 鉄道事業法の鉄道事業における設計管理者
- ⑤ 中小企業支援法による中小企業・ベンチャー総合支援事業派遣専門家
その他多数あり

²⁰¹ 柏雅・年光孝夫「めざせ PE/FE」日本能率協会マネジメントセンター，pp.10-29，2002

²⁰² 文部科学大臣指定試験・登録機関公益社団法人日本技術士会「技術士制度について」，pp.24-29，2021

²⁰³ 杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博「大学講義 技術者の倫理 学習要領」丸善，pp.145-165，2008

²⁰⁴ 文部科学大臣指定試験・登録機関公益社団法人日本技術士会「技術士制度について」，pp.24-29，2021

表 6-2 有資格者として認められているもの
 (出展：日本技術士会「技術士制度について」2022 より)

技術士資格の公的活用

(1) 中央省庁

所管省庁	資格の名称	区分	該当技術部門(選択科目)
総務省	「政府情報システムの整備及び管理に関する標準ガイドライン(調達する作業内容ごとの人材に関する要求要件)	技術士	情報工学, 上記を選択科目とする総合技術監理
厚生労働省	労働災害防止のため建設工事などの計画に参画させる有資格者(労働安全衛生法)	第二次試験合格者	建設
	労働契約期間の特例(専門的知識等を有する労働者)(労働基準法)	技術士	全技術部門
農林水産省	土地改良事業の審査のため農林水産省等が委嘱する専門技術者(土地改良法)	第二次試験合格者	農業(農業土木,農村地域計画)
〃(林野庁)	治山・林道事業の現場技術業務を委託する場合の公益法人等の現場技術者(治山・林道事業現場技術者業務委託実施要領)	技術士	森林(森林土木)
〃(〃)	治山・林道事業に係る調査・測量・設計等を外注する場合の取扱要領に定める技術者(治山・林道事業に係る調査、測量、設計等を外注する場合の取扱要領)	技術士	森林(森林土木)
経済産業省	ダム水路主任技術者の選任の許可の要件(電気事業法)	第一次試験合格者	建設
		第二次試験合格者	建設, 農業(農業土木), 上記を選択科目とする総合技術監理
〃(中小企業庁)	中小企業・ベンチャー総合支援事業派遣専門家として登録される専門家(中小企業支援法)	技術士	全技術部門
国土交通省	設計管理者(鉄道土木、鉄道電気、車両)(鉄道事業法)	第二次試験合格者	機械, 電気電子, 建設
	宅地造成工事の技術的規準(擁壁、排水施設)の設計者(宅地造成等規制法)	第二次試験合格者	建設
	公共下水道又は流域下水道の設計又は工事の監督管理を行う者(下水道法)	第二次試験合格者	上下水道(下水道)
	一般建設業の営業所専任技術者又は主任技術者(建設業法)	第二次試験合格者	機械, 電気電子, 建設, 上下水道、 衛生工学, 農業(農業土木), 森林(林業,森林土木), 水産(水産土木), 上記を選択科目とする総合技術監理
	特定建設業の営業所専任技術者又は監理技術者(建設業法)	第二次試験合格者	機械, 電気電子, 建設, 上下水道、 衛生工学, 農業(農業土木), 森林(林業,森林土木), 水産(水産土木), 上記を選択科目とする総合技術監理
	建設コンサルタントとして国土交通省に部門登録をする場合の専任技術管理者(建設コンサルタント登録規程)	技術士	機械(機械設計,材料力学,機械力学・制御, 動力エネルギー,熱工学,流体工学,交通・物流 機械及び建設機械,ロボット,情報・精密機器), 電気電子, 建設, 上下水道(上水道及び工業用水道, 下水道), 衛生工学(廃棄物管理), 農業(農業土木), 森林(森林土木), 水産(水産土木), 応用理学部門(地質), 上記を選択科目とする総合技術監理
	地質調査業者として国土交通省に登録する場合の技術管理者(地質調査業登録規程)	技術士	建設(土質及び基礎), 応用理学(地質), 上記を選択科目とする総合技術監理
開発許可申請の場合の設計者(都市計画法)	第二次試験合格者	建設, 上下水道, 衛生工学	
国土交通省・環境省	公共下水道又は流域下水道の維持管理を行う者(下水道法)	第二次試験合格者	上下水道(下水道), 衛生工学(水質管理,廃棄物管理(汚物処理を含む))

※ 技術部門名のみは当該選択科目のすべてが対象

(2) 地方自治体等

自治体名	資格の名称	区分	該当技術部門（選択科目）
大阪府 埼玉県 千葉県 市原市 川崎市 那覇市 他	廃棄物処理施設の技術管理者	技術士	化学、上下水道、衛生工学、その他の技術部門（ただし1年以上の実務経験）
東京都環境局	指定地球温暖化対策事業所の技術管理者（環境確保条例）	技術士（省エネルギー診断を実施する能力を有していること及び都の定める講習会修了者）	機械、電気電子、建設、衛生工学、環境、総合技術監理（機械、電気電子、建設、衛生工学、環境）
東京都環境局	東京都1種公害防止管理者（都民の健康と安全を確保する環境に関する条例）	技術士（東京都1種公害防止管理者講習会修了者）	全技術部門
各都道府県等	被災宅地危険度判定士	第二次試験合格者（被災宅地危険度判定士講習会修了者）	建設、上下水道又は衛生工学（2年以上の宅地開発に関する実務経験）

(3) その他

所管	資格の名称	区分	内容
裁判所	裁判所（鑑定人、専門委員、調停委員）	技術士	各裁判所から鑑定人等の推薦依頼があった場合など、下記の司法支援を行なう。採用が決まると裁判所との間で個人契約となる。 (1) 鑑定人 求められた鑑定事項に専門家の立場からの意見を述べる。鑑定書の提出を求められるのが一般的である。年齢制限はない。 (2) 専門委員 裁判所が任命する非常勤の裁判所職員（特別職の国家公務員）として、指定を受けた事件について各訴訟手続きに必要な専門的知見に基づく説明を行う。任期2年で、年齢制限はない。 (3) 調停委員 身分は、専門委員と同様に裁判所が任命する非常勤の裁判所職員で、裁判官と調停委員により構成される調停委員会のメンバーとして、訴訟よりは簡易な手続である調停に専門家の立場から関与する。40歳以上70歳未満の年齢制限がある。
林野庁	地域林政アドバイザー	技術士（森林）	市町村の森林・林業行政全般又は一部について、知識・経験を元にアドバイス等を行う。具体的な事例を挙げれば以下の通り。（あくまで施策の企画立案や所有者等への指導といった施策にかかわる事務を対象としており、単なる巡視などの単純な事務は対象としない。） ①伐採・造林の指導・監督補助（現地確認、事業体指導） ②森林経営計画の認定支援（現地確認、事業体指導） ③民有林における地籍調査、境界明確化活動の支援 ④市町村有林の経営計画の作成、実行管理、事業発注補助 ⑤森林GIS、林地台帳システムの整備、メンテナンス （新たな土地所有届出や所有者からの修正申出を踏まえたデータの更新） ⑥路網の整備・管理計画の策定 ⑦市町村森林計画及び構想の作成支援

B 資格試験の一部又は全部を免除されているもの（表6-3）

- ① 廃棄物処理施設技術管理者
- ② 労働安全・衛生コンサルタント
- ③ 作業環境測定士
- ④ 一級施工管理技士（土木、電気工事、管工事、造園）
- ⑤ 土地区画整理士
- ⑥ 弁理士
- ⑦ 消防設備士
- ⑧ 気象予報士

表 6-3 資格試験の一部又は全部を免除されているもの
(出展：日本技術士会「技術士制度について」2022 より)

他の公的資格取得上の免除等

所管省庁	資格の名称	特典事項	区分	該当技術部門（選択科目）
総務省	消防設備士(甲種・乙種)	筆記試験一部免除 甲種受験資格を認定	第二次試験合格者	機械, 電気電子, 化学, 衛生工学 全技術部門
	消防設備点検資格者(特種・第1種・第2種)	受講資格を認定	第二次試験合格者	機械, 電気電子, 化学, 上下水道, 衛生工学
厚生労働省	建築物環境衛生管理技術者	受講資格を認定	技術士	機械, 電気電子, 上下水道, 衛生工学
	労働安全コンサルタント	筆記試験一部免除	第二次試験合格者	機械, 船舶・海洋, 航空・宇宙, 電気電子, 化学, 金属, 資源工学, 建設, 農業(農芸化学, 農業土木), 森林(森林土木), 経営工学(生産マネジメント) 全技術部門
		受験資格を認定		
	労働衛生コンサルタント	筆記試験一部免除	第二次試験合格者	衛生工学 全技術部門
受験資格を認定				
作業環境測定士(第1種・第2種)	筆記試験一部免除	技術士	化学, 金属, 衛生工学, 応用理学	
	受験資格を認定	第二次試験合格者	全技術部門	
厚生労働省・環境省	廃棄物処理施設技術管理者	申請資格を認定	第二次試験合格者	化学, 上下水道, 衛生工学 上記技術部門以外の技術士
		申請資格一部認定		
経済産業省	中小企業診断士	筆記試験一部免除	第二次試験合格者	情報工学
	ホィラー・タービン主任技術者(第1種・第2種)	申請資格の一部として認定	第二次試験合格者	機械
〃(特許庁)	弁理士	論文試験免除	技術士	全技術部門
国土交通省	気象予報士	学科試験免除	技術士	応用理学
	土木施工管理技士(1級・2級)	学科試験免除	第二次試験合格者	建設, 上下水道, 農業(農業土木), 森林(森林土木), 水産(水産土木), 上記を選択科目とする総合技術監理
	電気工事施工管理技士(1級・2級)	学科試験免除	第二次試験合格者	電気電子, 建設, 上記を選択科目とする総合技術監理
	管工事施工管理技士(1級・2級)	学科試験免除	第二次試験合格者	機械(熱工学, 流体工学), 上下水道, 衛生工学, 上記を選択科目とする総合技術監理
	造園施工管理技士(1級・2級)	学科試験免除	第二次試験合格者	建設, 農業(農業土木), 森林(林業, 森林土木), 上記を選択科目とする総合技術監理
	土地区画整理士	学科試験免除	第二次試験合格者	建設(都市及び地方計画)
	地すべり防止工事士	一次審査を免除	技術士	建設(土質及び基礎, 河川, 砂防及び海岸・海洋, 道路), 農業(農業土木), 森林(森林土木), 応用理学(地球物理及び地球化学, 地質), 環境
	推進工事技士	学科試験を免除	第二次試験合格者	建設, 上下水道 上記を選択科目とする総合技術監理
	舗装施工管理技術者(1級・2級)	受験資格一部認定	第二次試験合格者	建設
	環境省	環境カウンセラー	登録審査の加算要素の一つとして認定	技術士
財務省 厚生労働省 農林水産省 経済産業省 国土交通省 環境省	特定工場における公害防止管理者(ばい煙発生施設, 汚水等排出施設, 騒音発生施設, 振動発生施設, 特定粉じん発生施設, 一般粉じん発生施設, ダイオキシン類発生施設)	受講資格を認定	技術士	機械(機械力学・制御, 動力エネルギー, 熱工学, 加工・ファクトリーオートメーション及び産業機械), 化学, 金属(鉄鋼生産システム, 非鉄生産システム), 上下水道, 衛生工学(大気管理, 水質管理), 農業(農芸化学), 応用理学(物理及び化学), 環境(環境保全計画, 環境測定)

※ 技術部門名のみは当該選択科目のすべてが対象

以上のような特権があるものの、業務独占にはなっておらず、資格が十分に活用されているとはいえない。

引き続き、今後の技術士資格の公的活用について、日本技術士会の「活用促進委員会」が、各部会からの意見等もおろこみ、以下7項目について具体的な提案及び要望書（案）として整理している²⁰⁵。現状を更に詳述するとともに、各項目に対する筆者の意見を、【意見】として記載する。

①【厚生労働省が所管】

「医薬品等総括製造販売責任者」「医薬品製造管理者」「医薬部外品等責任技術者」の資格要件として「技術士（生物工学部門）」の追加要望

【現状】

「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」²⁰⁶で第十七条に規定される、医薬品、医薬部外品又は化粧品等の品質管理及び製造販売後安全管理を行う者として置かれる者（「医薬品等総括製造販売責任者」）、医薬品の製造を管理する者として置かれる者（「医薬品製造管理者」）、医薬部外品又は化粧品の製造を管理する者として置かれる者（「医薬部外品等責任技術者」）について、薬剤師を必要としないものとしては、「薬剤師以外の技術者」とされている。

【提案内容】

「医薬品等総括製造販売責任者」「医薬品製造管理者」「医薬部外品等責任技術者」の資格要件として技術士（生物工学部門）を加える。

【意見】

これにより、選任に必要な資質が明確化し、選任される者の質が向上する。また同時に、医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保に寄与する。

②【厚生労働省が所管】

「作業環境測定士」試験科目の免除資格として「技術士（環境部門（環境測定）」）で空気環境の測定の実務に3年以上従事した経験有するものの追加要望

【現状】

国家資格「作業環境測定士」は免除に該当する資格があり、衛生工学部門の技術士の登録を受けたもので、空気環境の測定の実務に3年以上従事した経験を有するものは、共通科目4（「労働衛生一般」、「労働衛生関係法令」、

²⁰⁵ 公益社団法人日本技術士会、「技術士制度改革について（提言）「最終報告」,2018

²⁰⁶ 「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」

「デザイン・サンプリング」, 「分析に関する概論」) の内, 「分析に関する概論」を, 選択科目「有機溶剤」「鉱物性粉じん」「特定化学物質等」「金属類」「放射性物質」の内, 「有機溶剤」「鉱物性粉じん」「特定化学物質等」「金属類」) が免除される²⁰⁷.

【提案内容】

「作業環境測定士」試験科目の免除資格として, 衛生工学部門の技術士に加えて, 「環境部門 (環境測定)」の技術士の登録を受けたもので, 空気環境の測定の実務に3年以上従事した経験を有するものもその部門内容により, 同等の素養を有すると考えられ試験科目免除とする.

【意見】

免除資格を広げることにより, 作業環境測定に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる. また同時に, 作業環境測定の信頼性向上に寄与することが期待できる.

- ③【財務省, 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省, 経済産業省, 環境省が所管】
「生産業務等安全主任者」の資格要件として「技術士(生物工学部門)」の活用要望

【現状】

遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律に関わる, 遺伝子組換え等における生産業務において安全管理面で管理者を補佐する生産業務等安全主任者について, 遺伝子組換え生物等の取扱いについて経験を有することのみがその要件になっている.

【提案内容】

生産業務等安全主任者の要件の一つとして, 技術士の生物工学部門を加える.

【意見】

生産業務等安全主任者に必要な資質が明確化し選任作業が円滑になる, 遺伝子組換え等における生産業務における安全管理の向上が期待できる.

- ④【経済産業省が所管】

「公害防止管理者」の水質第3種・第4種の資格認定講習の受講資格に技術士(生物工学部門)の追加要望

【現状】

国家資格「公害防止管理者」は, 技術資格又は学歴及び実務経験資格を有する者が, 書類審査を経て規定の講習を受講し, かつ, 修了試験に合格した場

²⁰⁷ 「医薬品, 医療機器等の品質, 有効性及び安全性の確保等に関する法律」

合，国家試験に合格した場合と同等の資格が付与される²⁰⁸。

公害防止管理者には，大気関係，水質関係，特定粉じん，一般粉じん，騒音・振動，ダイオキシン類，主任管理者の種別があり，このうち水質関係第3種の受講資格は，現状以下とされている²⁰⁹。

- (i) 技術士で，主務省令で定める選択科目を選択したもの
化学部門の全選択科目，上下水道部門の全選択科目，衛生工学部門の水質管理，農業部門の農芸化学，農業・食品，応用理学部門の物理及び化学，環境部門の環境保全計画，環境測定
- (ii) 計量士で，主務省令で定める区分に係るもの
環境計量士（濃度関係）
- (iii) 薬剤師の免許を受けているもの
- (iv) 保安技術管理者，副保安技術管理者，保安監督員又は鉱害防止係員に係る国家試験に合格したもの

また，水質関係第4種は，以下とされている。

- (i) 採石業務管理者として1年以上その職務に従事したもの
- (ii) 再生医療等製品の製造の管理をする者又は生物由来製品の製造の管理をする者として1年以上その職務に従事したもの
- (iii) 計量士で，主務省令で定める区分に係るもの
環境計量士（濃度関係）
- (iv) 薬剤師[薬剤師法]の免許を受けているもの
- (v) 技術士[技術士法]で，主務省令で定める選択科目を選択したもの
化学部門 全選択科目，上下水道部門 全選択科目，衛生工学部門 水質管理，農業部門 農芸化学，農業・食品，応用理学部門 物理及び化学，環境部門 環境保全計画，環境測定とされている。

【提案内容】

公害防止管理者等の資格の中の，水質第3種・第4種の資格認定講習の受講資格として，技術士の上記部門に加えて，生物工学部門を加える。

²⁰⁸ 一般社団法人産業環境管理協会公害防止管理者試験センター，「令和3年度公害防止管理者等資格認定講習案内書」

²⁰⁹ 一般社団法人産業環境管理協会公害防止管理者試験センター，「令和3年度公害防止管理者等資格認定講習案内書」

【意見】

公害防止管理において、生物工学部門はその部門内容により、上記部門と同等の素養を有すると考えられる。同時に、資格認定講習の受講資格を広げることにより、公害防止に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる。また同時に、公害防止管理の信頼性向上に寄与することが期待できる。生物工学関連の災害防止に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる。また同時に、施設管理の信頼性向上に寄与することが期待できる。

⑤【経済産業省が所管】

「環境計量士」の資格登録に必要な要件として「技術士（環境部門）」の追加要望

【現状】

「環境計量士」は計量士国家試験に合格し、次のいずれか要件をみたさなければならない²¹⁰。

- (i) 実務経験1年以上
- (ii) 環境計量講習（濃度関係）終了
- (iii) 薬剤師免許資格取得
- (iv) 職業訓練指導員免許（化学分析科）取得
- (v) 職業能力開発校（化学系化学分析科）修了
- (vi) 技能検定のうち検定職種が化学分析（1級，2級）又は産業洗浄（実技試験科目：化学洗浄作業）合格
- (vii) 技術士（衛生工学部門）登録

【提案内容】

上記（vii）の要件に、部門内容から技術士（衛生工学部門）と同等の素養を有すると考えられる「技術士（環境部門）（選択科目：環境測定）」登録の技術士を追加する。

【意見】

環境計量において、環境部門はその部門内容により、上記部門と同等の素養を有すると考えられる。同時に、資格登録要件を広げることにより環境計量に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる。また同時に、環境計量や環境管理の信頼性向上に寄与することが期待できる。

⑥【環境省が所管】

²¹⁰ 経済産業省 環境計量士：Web ページ，

https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/techno_infra/20_kei_ryoushi.html

参照日：2022-2-13

「廃棄物処理施設技術管理者」の資格取得要件として「技術士（環境部門）」の追加要望

【現状】

「廃棄物処理施設技術管理者」は、「技術士（化学部門，上下水道部門又は衛生工学部門）」に係る第2次試験に合格したものは，廃棄物処理実務経験年数不問で，化学部門，上下水道部門又は衛生工学部門以外の部門の技術士は，合格後の廃棄物処理実務経験年数1年以上が必要とされている²¹¹。

【提案内容】

化学部門，上下水道部門又は衛生工学部門以外で，部門内容から化学部門，上下水道部門又は衛生工学部門と同等の素養を有すると考えられる環境部門についても，その部門内容の廃棄物処理実務経験年数を不問とする。

【意見】

廃棄物処理施設全体の管理の観点から，信頼性の向上に寄与することが期待できる。

廃棄物処理施設技術管理において，環境部門はその部門内容により，上記部門と同等の素養を有すると考えられる。同時に，資格登録要件を広げることにより廃棄物処理施設技術管理に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる。また同時に，廃棄物処理施設技術管理の信頼性向上に寄与することが期待できる。

⑦ **【国土交通省が所管】**

「昇降機型式適合認定」の審査業務における「技術士（機械部門）」の活用要望

【現状】

国土交通省令「建築基準法に基づく指定資格検定機関等に関する：省令第38条」²¹²でエレベータ・エスカレータの型式適合認定は，次の(i)から(iv)までのいずれかに該当する者が行う旨，定められている。

(i) 学校教育法に基づく大学又はこれに相当する外国の学校において建築学，機械工学，電気工学，衛生工学その他の認定等の業務に関する科目を担当する教授若しくは准教授の職にあり，又はあった者

(ii) 建築，機械，電気若しくは衛生その他の認定等の業務に関する分野の試験研究機関において試験研究の業務に従事し，又は従事した経験を有す

²¹¹ 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」

²¹² 「建築基準法に基づく指定資格検定機関等に関する省令」

- る者で、かつ、これらの分野について高度の専門的知識を有する者
- (iii) 建築基準適合判定資格者検定に合格した者で、かつ、建築物の敷地、構造及び建築設備の安全上、防火上又は衛生上の観点からする審査又は検査に係る部門の責任者としてこれらの業務に関して三年以上の実務の経験を有する者
 - (iv) 国土交通大臣が(i)から(iii)までに掲げる者と同等以上の知識及び経験を有すると認める者

【提案内容】

(i)～(iv)以外に、技術士は「科学技術に関する技術的専門知識と高等の専門的応用能力及び豊富な実務経験を有し、公益を確保するため、高い技術者倫理を備えた、優れた技術者」であり、その専門分野から技術士(機械部門)を加える。

【意見】

「昇降機型式適合認定」の審査業務において、技術士(機械部門)はその部門内容により、上記資格と同等の素養を有すると考えられる。同時に、資格登録要件を広げることにより「昇降機型式適合認定」の審査業務に知見を持つ管理者の養成が円滑に進められる。また同時に、「昇降機型式適合認定」の審査業務の信頼性向上、昇降機業務の安全性向上に寄与することが期待できる。

以上、日本技術士会の提案をまとめてみると、日本技術士会としては大きく以下の(i)～(iii)の3つの戦略を適用検討していると筆者は考える。

- (i) 既に資格要件として認められている一部の部門の技術士資格についての適用部門の拡大(②④⑤⑥)
- (ii) まだ資格要件として認められていないものについて、その資格要件と同等の素養を有すると考えられる部門の技術士資格についての適用(③⑦)
- (iii) まだ資格要件が明確化されていないものについて、選任に必要な資格要件として限定された部門の技術士資格を追加(①)

これらの項目について、関係省庁はじめ業界等の関係者と調整をしていくとともに、さらに技術士活用範囲の拡大の取組みを進めることは必要であると考えられる。

以上、技術士の業務独占とはなっていないが、技術士という資格があれば、業務を行うことができるもの、或いは資格試験の一部又は全部を免除されている

ものも少なからず存在する。また、上記 (i) ~ (iii) の取組みにより、一部の資格にしかできない業務を代行することをはじめ、一部の業務への技術士資格の適用拡大は少しずつ着実に進むと考えられる。しかし①~⑦の取組みを行っても限定された部分的な業務拡大にしか繋がらず、抜本的な適用拡大や、さらに技術士業務独占に至るのは困難であると考えられる。

(2) 資格取得後の CPD、資格定期更新が必須化されていない

日本の技術士制度では、PE 制度、CEng 制度と比較すると、表 6-1 米英日 3 か国の技術者資格取得・更新プロセス比較表において、JABEE 課程修了、又は技術士 1 次試験合格 (A1, B1, J1)、実務経験 (A3, B2, J2)、技術士 2 次試験(筆記・口頭試験)合格 (A4, B3, J3)、登録 (A6, B3, J4)、と PE 資格、CEng 資格取得、登録に相当する手順は存在する。しかし、資格取得後、資格継続のための CPD (A7, B4, J5)、資格定期更新 (A8, B5) が必須化されておらず、現時点で必要とされている資質能力を有することが担保されていない²¹³。

(2-1) CPD の目的と経緯

日本では、1995 年にアジア太平洋経済協力 (APEC) 域内で相互に技術者が自由に活動できるように、互いに自国と同等の資格とみなされるように APEC エンジニア制度が設立、運用された。これによって、日本の資格としては、技術士と一級建築士が相互承認の対象となった。それに伴い APEC エンジニアの資格更新時には 5 年間で 250 単位の CPD が義務づけられることになった。

日本における APEC エンジニアの資格を管理する事務局は、日本技術士会内におかれ、CPD 時間 (時間重み係数を考慮した時間) は、日本技術士会が定める CPD ガイドラインに基づき計上される事が求められている²¹⁴。

2000 年 4 月の技術士法改正により、技術士法第 47 条 2 「技術士の資質向上の責務」として「技術士は、常に、その業務に関して有する知識及び技能の水準を向上させ、その他その資質の向上を図るよう努めなければならない。」が追加され、技術士の資質向上を図るための CPD が、法律で技術士の責務と位置づけられるようになった²¹⁵。

これにより、日本技術士会では、CPD 行事の企画・運営及び、技術士の CPD 活

²¹³ 日本技術士会「技術士制度改革について (提言) (中間報告その 2)」, 2018

²¹⁴ 日本技術士会: Web ページ, https://www.engineer.or.jp/c_topics/000/000150.html, 参照日: 2021-12-22

²¹⁵ 日本技術士会「技術士 CPD (継続研鑽) ガイドライン (第 3 版)」, 2017 年

動の支援を行うとともに、2002年4月からは技術士のCPD活動の実績登録の受付や管理を行ってきたが²¹⁶、技術士資格の維持上必須ではない。

(2-2)CPD 登録

「技術士CPD（継続研鑽）ガイドライン（第3版）」において、技術士CPDについて、以下の通り解説されている²¹⁷。技術士はCPD行事に参加すると、主催者よりCPD行事参加票（表6-4）が発行され参加・受講の証明となる。受講者はその受講票を基にCPD実績を日本技術士会のホームページから、直接入力し登録することができる。

さらに、日本技術士会Webページによれば、日本技術士会は以下の通りCPD制度の普及にも努めてきてる。

「2005年4月より、本人の実績登録に基づく「技術士CPD登録証明書」の発行を行い、2006年3月から、CPD登録を行っている会員で、一定要件を満たす会員を「技術士CPD認定会員」として認定する制度を発足、運用させ、CPD制度の普及に努めてきた」²¹⁸。

日本技術士会Webページによれば、CPD活動は、技術士が自らが技術力、研究能力、マネジメント能力、コミュニケーション能力向上のために、自分の能力を継続的に研鑽する活動であり、一般にCPDの範囲は以下の三種に分類される²¹⁹。

- ①能力を獲得する活動：講演会・講習会・シンポジウム・研修会・見学会等への参加，論文発表，口頭発表，執筆活動，資格取得，自己学習等
- ②実務を通じた活動：表彰を受けた業務，特許取得等
- ③社会貢献活動：公的な機関等の委員会委員，講演会講師，技術指導等

²¹⁶ 日本技術士会「技術士CPDガイドライン」、2021年

²¹⁷ なお、本稿ではCPD制度について、2021年度ベースで調査・分析を行ってきたが、2022年4月以降のCPD活動の資質区分と形態区分、CPD時間算定基準が一部改訂された。

²¹⁸ 日本技術士会：Webページ，
<https://www.engineer.or.jp/cmtee/kensyuu/170401CPDguideline3.pdf>，参照日：2021-9-18

²¹⁹ 日本技術士会：Webページ，
<https://www.engineer.or.jp/cmtee/kensyuu/170401CPDguideline3.pdf>，参照日：2021-9-18

表 6-5 CPD の課題区分と内容

(出展：日本技術士会「技術士 CPD (継続研鑽) ガイドライン (第 3 版)」2017)

区分	課題項目	内容
A 一般 共通 課題	A-1 倫理	倫理規定、職業倫理、技術倫理、技術者倫理（技術の人類社会に与える長期的・短期的影響の評価を含む技術士に課せられた公益確保の責務等）
	A-2 環境	地球環境、環境アセスメント、地域環境、自然破壊等の環境課題の解決方法等
	A-3 安全	安全基準、防災基準、危機管理、化学物質の毒性、製造物責任法（PL法）等
	A-4 技術動向	新技術、情報技術、品質保証、規格・仕様・基準(ISO、IEC)等
	A-5 社会・産業経済動向	国内、海外動向（国際貿易動向、GATT/WTO、ODAなど）、商務協定並びに技術に対するニーズ動向、内外の産業経済動向、労働市場動向等
	A-8 マネジメント手法	工程管理、コスト管理、資源管理、維持管理、品質管理、プロジェクト管理、MOT、リスク管理、知財管理、セキュリティ管理等
	A-9 契約	役務契約、国際的な契約形態等
	A-10 国際交流	英語によるプレゼンテーション・コミュニケーション、海外(学会・専門誌)への論文・技術文書の発表・掲載、国際社会の理解、各国の文化及び歴史等
	A-11 その他	教養（科学技術史など）、一般社会との関わり等、及び上記A-1～A-8に含まれないもの
	B 技術 課題	B-1 専門分野の最新技術
B-2 科学技術動向		専門分野、科学技術政策、海外の科学技術動向等
B-3 関係法令		業務に関連ある法令（特に改定時点）
B-4 事故事例		同様な事故を再び繰り返さないための事例研究(ケーススタディ)及び事故解析等
B-5 その他		上記B-1～B-4に含まれない技術関連事項等

なお、CPD 時間（ポイント）とは、CPD 登録実績を示す単位であり、CPD に実質的に費やした時間に対し、実施内容の難易度や効果を勘案した「時間重み係数」（Weight Factor = CPDWF）を乗じた時間により算定する（例：講演の聴講よりも、発表者や講師を務めるほうが、同じ1時間でも CPD の時間重み係数は高い）。

なお、このうち、表 6-5 の実施形態の「1. 講習会，研修会，シンポジウム，見学会等への参加(受講)」については、大学，学協会（学術団体，公益法人を含む），民間団体及び企業が公式に開催するものについても，認定されており，日本技術士会が主催するものに限定されていない。技術士は、「表 6-5 CPD の実施形態と時間重み係数(CPDWF)及びCPD時間の関係」に基づき，自己申告により以下の項目を日本技術士会のCPD登録システムへ登録する。

技術士の氏名，技術士登録部門，技術士登録番号，CPD 対象期間，履修の項目と内容，年月日，名称，主催者／発行機関，形態／担当，内容，CPD 時間数，重み係数（CPDWF），その他，課題項目別及び実施形態別のCPD累計時間等

表 6-6 CPD の実施形態と時間重み係数(CPDWF)及び CPD 時間の関係

(出展：日本技術士会「技術士 CPD (継続研鑽) ガイドライン (第 3 版)」2017)

実施形態	内 容	登録 コード	CPDWF 時間重み係数	CPD 時間 (計算方法)	CPD 時間 (上限/件)	CPD 時間 (上限/年度)
1. 講習会、研修会、講演会、シンポジウム、見学会等への参加(受講)	日本技術士会、大学、学協会(学術団体、公益法人を含む)、民間団体及び企業が公式に開催するもの 注1)CPDの内容として①演題、②講師名(所属)、③要旨、④所見等を記述する(WEB登録の場合、256文字以内) 注2)遠隔地で開催されている講演会を、Webを利用して同時中継の環境で視聴した場合は、形態「1」で計上できる 注3)地域本部等開催する講演会等において、日本技術士会が認定するeラーニングの録画等を利用した場合は、形態「1」で計上できる(日本技術士会が認定するeラーニングの自宅、海外渡航先等での視聴は形態「6-5」(登録コード651)で計上) 注4)企業内で研修プログラムに基づき開催する技術研修会への参加は形態「3:企業内研修」で計上する 注5)異業種交流会、プライベートな勉強会、展示会等への参加は、形態「6-5」で計上する 注6)講演会等においては、昼食時間等の休憩時間はCPDとして計上しない(主催者が指定するCPD時間若しくは実時間のみ計上する) 注7)総会、懇親会への参加は計上しない(総会等で講演が含まれる場合のみ講演時間を計上する) 注8)資格取得のための受講等は計上せず、取得時に形態「6-1」で計上する(資格更新のための受講は形態「1」で計上できる) 注9)2日以上連続して受講した場合は、1日ごとに分けて計上する 注10)表-1の一般共通課題または技術課題になじまない講演会、見学会参加等は計上しない	100	1	1×H H:受講時間	-	-
2. 論文・報告文などの口頭発表・掲載・査読	(1)日本技術士会、学協会、民間団体等が開催する技術発表会等での口頭発表	210	5	5×H H:発表時間	-	-
	(2)日本技術士会、学協会 民間団体等が発行する学術誌、技術誌等への論文、報告文の掲載	221 222	2 1	2×H H:作成時間 1×H H:作成時間	30時間/件 10時間/件	- -
	(3)日本技術士会、学協会、民間団体等が発行する学術誌、技術誌等の論文、報告文の査読等	231	1	1 ^分 ×0.25H	5時間/件	-
	注1)口頭発表時間は実時間×5で計上し、他の聴講時間は形態「1」で計上する 注2)論文等は題名、ページ数、内容(キーワード等でわかりやすく)を記述する 注3)連名・共著の場合は本人が関わった実時間を計上する 注4)口頭発表のための予稿集、パワーポイント等の説明資料の作成は計上しない 注5)同一内容について別の場で発表した場合は、1回のみ計上、2回目から計上しない 注6)論文作成したものを口頭発表する場合は、(1)、(2)をそれぞれ別々に計上する 注7)展示会・ポスターセッションの説明は、形態「6-5」で計上する 注8)企業、民間団体等が発行する技術誌は、広く発行されているものに限る					
3. 企業内研修(受講)	研修プログラムが明示されており、それに基づいて実施され成果が明確なもの 注1)CPDの内容は①研修プログラム名、②演題、③講師名(所属)、④要旨、④所見等を記述する(WEB登録の場合、256文字以内) 注2)業務に密接に関連する社内会議等は計上しない 注3)資格取得のための企業内研修等は計上せず、資格取得時に形態「6-1」で計上する 注4)企業における語学研修は計上できる	300	1	1×H H:受講時間	-	30時間/年度
4. 研修会・講習会などの講師・修習技術者指導	(1)日本技術士会、大学、学協会、民間団体、企業等の開催する研修会、講習会、技術説明会、シンポジウム、パネルディスカッションの講師等	411 412	3 1	3×H H:講演時間 1×H H:講演時間	- -	25時間/年度 15時間/年度
	(2)修習技術者等に対する具体的な技術指導(修習ガイドブックに示す「基本修習課題:専門技術力、業務遂行能力、行動原則」に該当するものに限る)	420	1	1×H H:指導時間	-	15時間/年度
	注 1)コンサルタント業務、ISO 審査、内部監査は計上しない 注 2)職責上実施した業務の他、部下の指導、社内管理業務に関する教育訓練は計上しない 注 3)技術士等の資格受験指導は計上しない 注 4)同じ教材で行う研修会・講習会は、1回/年度のみ計上する 注 5)大学における非常勤講師は計上できる 注 6)同好会活動の講師は計上しない 注 7)講演のための準備(パワーポイント等資料作成、打ち合わせ等)は計上しない					

実施形態	内 容		登録 コード	CPDWF 時間重み係数	CPD 時間 (計算方法)	CPD 時間 (上限/件)	CPD 時間 (上限/年度)
5. 業務の技術的な 評価	(1)業務上で技術的成果をあげ、グループ及び個人(本人)が受けた表彰(注1、2、3、4)	公的な組織からのもの	511	1	1×H H:該当時間	20 時間/件	—
		企業の代表者からのもの	512	1	1×H H:該当時間	10 時間/件	—
	(2)特許出願(発明者に限る)(注5、6)	基本特許	521	1	1×H H:該当時間	40 時間/件	—
		周辺特許	522	1	1×H H:該当時間	15 時間/件	—
注1)表彰の名称、発行者、業務名、受賞者名、受賞業務内容等について記述する 注2)公的な組織(国、地方公共団体、学協会等)から、グループ名で表彰を受けた場合は、そのグループの責任者(長)の場合20時間/件を、担当者・照査の場合10時間/件を上限として計上する。 注3)企業の代表者からの表彰は、責任者10時間/件、担当者等は5時間/件を上限とする 注4)同一業務における表彰は20時間を限度とする。表彰は証明するものが必要 注5)特許の共同出願の場合は人数を記入し、上記CPD時間を限度に本人の貢献度に応じて案分して計上する 注6)基本特許の場合、それがわかる説明を記述する							
6. その他	技術士の資質向上に役立つものに限る						
6-1 公的な技術資格の取得	政府機関等の認定あるいは承認する技術資格の取得		610	1	1×H H:該当時間	10 時間/資格	20 時間/年度
注1)技術士第二次試験と同等の難易度の資格を除き5時間/資格を計上する 注2)資格の更新は計上せず、更新のための講習会は形態「1」で計上する 注3)技術資格でないがCPDに資する資格(英検等)の取得は、形態「6-5」で計上する 注4)学位取得は政府機関の認定する技術資格と同等なものとして計上する							
6-2 公的な機関での委員会活動	国・地方公共団体、学協会等の審議会・委員会の委員(年間を通じた活動であるもの)		620	1	1×H H:会議時間/年度	10 時間/会	—
注1)委員会の名称、目的、自身の役割を明記する 注2)同一委員会内の小委員会、WG等はまとめて計上する 注3)通年の活動として年度毎にまとめて上限時間内で計上する 注4)公的な機関における技術業務の審査委員も計上できる							
6-3 大学、研究機関における研究開発・技術業務への参加、国際機関などへの協力	大学、研究機関等における研究開発・技術開発業務への参加、国際機関、国際協力機構等における国際的な技術協力への参加		630	1	1×H H:参画時間/年度	20 時間/件	—
注1)業務上のJICA技術協力等は計上しない(業務委託契約及び雇用契約での業務以外で、有識者(委員等)としての参加に限って計上できる) 注2)日常業務は計上できない。海外の現地技術者に対する指導・教育等で、それが日常業務でない場合は指導等の対象者、指導の目的、テーマ、成果等を記述し計上できる 注3)JABEEおよびAPEC エンジニアの審査は、大学教育および国際協力への貢献として、10時間/年度を上限として計上できる							
6-4 技術図書の執筆	成果が明確なもの	技術図書執筆(学協会が出版・監修した図書)	641	1	1×H H:執筆時間	15 時間/件	—
		翻訳を含む技術図書執筆(前記以外の図書)	642	1	1×H H:執筆時間	10 時間/件	—
注1)技術図書の執筆は、技術的内容を明確に記述する(業務で作成した技術図書は含まない) 注2)出版社名、図書名、執筆タイトル、ページ数の他、執筆内容をキーワードで記入する 注3)資格受験指導に関する図書は計上しない							
6-5 自己学習他	(1)日本技術士会が認定するeラーニング		651	1	1×H H:履修時間	—	10時間/年度
	(2)技術士のCPDに値すると判断されるもの ①自己研究(テーマ、内容)、②学協会誌の購読 ③放送大学等のTV視聴、④日本技術士会が認定していないeラーニング、⑤大学、大学院、職業訓練の受講、⑥技術を通じたNPOやボランティア活動、⑦環境教育活動、⑧展示会への参加、⑨博物館の見学、⑩個人の語学学習、⑪異業種交流会・プライベートな勉強会、⑫公的な審議会の傍聴、⑬技術資格ではないその他の資格の取得(英検等、1資格5時間を上限)など		652	0.5	0.5×H H:履修時間	—	10 時間/年度
注1)日本技術士会が認定するeラーニングとは、日本技術士会の「Pe-CPD」に収録されている講演会および国立研究開発法人科学技術振興機構の「研究人材のためのe-learning」である 注2)日本技術士会が認定するeラーニングを履修した場合は、CPDの内容として必ず①演題、②講師名(または製作者)、③要旨、④所見等を100文字以上256文字以内で記入する							

また、日本技術士会は、技術士自身が登録した CPD 内容や CPD 時間等をデータベース化し本人のみがデータ更新可能な状態で管理を行う。さらに、CPD 認定会員に対しては、その要件を満足しているか、或いは登録ルールに基づく記録内容か等を、審査員が、定期的（年 1 回）に認定会員の約 10%を無作為抽出し審査を行う CPD 定期審査を実施している。その審査の結果、認定要件に適合していないと判断された場合は、その記録の修正・改善を依頼する。

国土交通省や地方自治体でも公共工事の品質確保のため、技術者の評価において、CPD 活動の実績が用いられており、技術士に対して CPD 活動の実績証明が必要とされる機会が増大している。

例えば、国土交通省や九州地方整備局が CPD 単位取得者に加点する公募型入札を行っており、広島県や鳥取県は入札参加資格の格付けに土木施工管理技士の CPD 取得者に加点を行っている²²⁰。

このように、日本技術士会は、技術士法 47 条の 2「資質向上の責務」に基づき、従来より CPD 行事を企画・運営することにより技術士の CPD 活動を支援するとともに、日本技術士会会員の CPD 活動の実績登録の受付・管理を実施してきた。しかし、非会員を含め日本の技術士全体の CPD 活動の実績までは、管理できていなかった。

(2-3)CPD 活動実績登録簿への記載の制度化

このような状況下、文部科学省の科学技術・学術審議会 第 10 期技術士分科会の審議を踏まえ、技術士の CPD 活動の実績の管理及び活用を可能とする公的な仕組みの構築が提言された。2021 年 4 月 26 日に文部科学大臣名の通知「技術士の資質向上に関する継続研さん活動の実績の管理及び活用について」を日本技術士会が受け、以下に示す (a) ~ (d) の事務について日本技術士会が担うこととなった²²¹。

2021 年 9 月には、技術士法施行規則が一部改正され、技術士登録簿の登録事項として資質向上の取組状況が追加され、技術士が希望する場合は、技術士 CPD 活動実績の記載ができるようになった。

(a) CPD ガイドラインの策定

技術士の CPD 活動の実績の管理と活用に関する具体的事項として、2021 年 9

²²⁰ 建設通信新聞、2004 年 2 月 13 日

²²¹ 日本技術士会：Web ページ、https://www.engineer.or.jp/c_topics/007/007763.html
，参照日：2022-1-5

月 8 日に「技術士 CPD ガイドライン」²²²が制定された。

(b) 技術士の CPD 活動の記録の確認及び実績簿の作成

CPD ガイドラインに基づき、技術士から CPD 活動の記録を受理し確認するとともに、希望する技術士の CPD 活動の実績簿を作成し登録する。その結果、技術士登録簿に「資質向上の取り組み状況」欄が新たに設けられ、技術士 CPD 活動実績の記載を希望する技術士は、申請により過去 5 年度までの実績時間が記載できる²²³。これらは、日本技術士会会員に限らず、非会員（技術士資格保有者の約 84%）にも適用拡大した。また、一定以上の継続研さんを重ねている技術士の名簿をホームページに掲載する。

(c) 技術士への CPD 活動の普及・啓発

日本技術士会の非会員を含む全ての技術士を対象に、その資質向上の責務を公的に確認する仕組みが構築されたことを周知するとともに、多様な研修機会を設けるなど効果的・効率的な CPD 活動を行えるよう支援することとなった。

(d) 技術士分科会への技術士の CPD 活動の状況の報告

この技術士 CPD 活動実績の管理及び活用の公的な仕組みの継続的な改善に資するために、技術士の CPD 活動の実施状況や管理する CPD 実績の利活用の事例等、技術士の CPD 活動の実績の管理及び活用に関する事項について、毎年度技術士分科会に報告することになった。

「技術士 CPD ガイドライン」²²⁴中で、技術士のキャリア形成に必要な CPD 時間として、以下の通り定めている。

①資質能力の維持のために必要な CPD 時間：20CPD 時間/年：（基準 CPD 時間）

技術士のキャリア形成の観点から、技術士資格取得後に、その資質能力維持するためには、1 年間で少なくとも学協会に入会し、会誌購読（10CPD 時間/年）と月 1 回 1 時間程度の講演会又は e ラーニング等の 10 回参加（10CPD 時間/年）程度の継続研鑽が必要と考え、米国における更新要件に匹敵する 20CPD 時間/年を「基準 CPD 時間」と定めた。

②高度なエンジニアとして必要な CPD 時間：50CPD 時間/年：（推奨 CPD 時間）積極的に資質を向上させ国際的に活躍できる高度なエンジニアとなるために、

²²² 日本技術士会：Web ページ，https://www.engineer.or.jp/c_topICs/008/008032.html，参照日：2022-1-5

²²³ 日本技術士会：Web ページ，https://www.engineer.or.jp/c_topICs/008/008032.html，参照日：2022-1-5

²²⁴ 日本技術士会「技術士 CPD ガイドライン」2021.9.8

APECエンジニアに匹敵する 50CPD 時間/年を「推奨 CPD 時間」と定めた。社会から高い倫理観を求められていることより、またそのうち数として 1CPD 時間/年以上の技術者倫理に関する実績が求められる。

この「技術者倫理」については、国際エンジニアリング連合 (IEA) のコンピテンシーとして、その履修が求められているが、技術士の CPD としては、履修が必須化されておらず、2015 年度の審査からは、APEC エンジニアの新規審査においては申請前過去 2 年度 100CPD 時間のうち少なくとも 1CPD 時間、更新審査においては申請前過去 5 年度 250CPD 時間のうち少なくとも 1CPD 時間/年、技術者倫理に関する CPD を計上することを要件とされている。

(2-4) 資格定期更新

技術士は資格定期更新が必須化されていないが、他の国家資格では、特に安全性に意識が高い資格においては、定期的な講習、更新が実施されている。例えば、高圧ガス保安法では、一定規模以上の高圧ガス製造事業所に対して保安責任者を、液化石油ガス法では、LP ガス販売事業者には業務主任者の選任を義務付けている。選任された保安責任者に対しては高圧ガス保安法で、また、選任された業務主任者や液化石油ガス設備士、充てん作業者の資格保有者に対しては、液化石油ガス法で、一定の期間ごとに講習を受けることを義務付けている。なお、高圧ガス保安法に違反した場合は、都道府県知事は許可を取り消し、又は期間を定めてその製造若しくは貯蔵の停止を命ずることができる（第三十八条製造の許可の取消し等）²²⁵とされている。

また、液化石油ガス法に違反した場合は、経済産業大臣又は都道府県知事は、その登録を受けた液化石油ガス販売事業者の登録を取り消し、又は期間を定めてその液化石油ガス販売事業の全部若しくは一部の停止を命ずることができる（第二十五条登録の取消し等）²²⁶とされている。

このように、技術士に対して CPD 活動の実績を管理及び活用する仕組みは構築されるようになったが、技術士は業務独占資格ではなく、資格取得後の CPD、資格定期更新は必須化されていない。

(3) 資格取得後の日本技術士会への加入が義務づけられていない

日本の技術士制度では、CEng 制度と比較すると、表 6-1 の B1～B6 の手順に対し、日本技術士会への加入は義務づけられておらず、個人の判断に任されている。

²²⁵ 高圧ガス保安法

²²⁶ 液化石油ガス法

PE 制度では NSPE が CPD 推進・支援を実施している。また、CEng 制度では学協会に対し CPD 推進・支援・監督することが求められており、これが永年に亘る産・官・学、学協会との緊密な連携に繋がっている。

日本技術士会への入会のメリットとして、各種 CPD 行事への参加が挙げられるが、国土交通省や地方自治体でも CPD 記録を技術者の評価項目として検討する傾向が拡大する中、以下の専門の学会、協会等で CPD 制度が整備、運用されている。一方、CPD の対象となるものは、大学、学協会（学術団体、公益法人を含む）、民間団体及び企業が公式に開催するものについても、認定されており、日本技術士会が主催するものに限定されていない。

①一般社団法人

建設コンサルタンツ協会
日本環境アセスメント協会
全国土木施工管理技士会連合会
全国測量設計業協会連合会
全国上下水道コンサルタント協会
森林・自然環境技術者教育会
交通工学研究会
全日本建設技術協会

②公益社団法人

地盤工学会
日本建築士会連合会
土木学会
日本コンクリート工学会
日本技術士会
日本造園学会
日本都市計画学会
農業農村工学会
空気調和・衛生工学会

③その他

土質・地質技術者生涯学習協議会
一般財団法人建設業振興基金

日本技術士会が主催する CPD についても、現状、その大部分は日本技術士会に入会しなくても受講することができる。

元来日本技術士会は技術士制度の普及、啓発を図ることを目的として、以下を

主な事業としており、利益団体ではないため、入会のメリットも乏しい。

技術士の資質向上，技術者の倫理の啓発，技術系人材の育成，社会貢献活動の推進，技術士試験・登録，国際交流及び国際協力活動，国際資格業務開発及び活用，情報発信・連携の強化（広報活動）

このような状況下で，技術士は必ずしも日本技術士会に入会し，特化した形で運用の必要性が見いだせない。さらに，未加入技術士の CPD 推進・支援・監督ができていないのが現状である。

VI-5. 技術者制度改善案の提案

技術士資格の公的活用を拡大し，米国 PE 制度や英国 CEng 制度と同様に優れた技術者制度とするためにも，コンピテンシーの改善の観点から，また技術士試験，日本技術士会加入促進，資格更新，CPD の一連の流れの中で，技術者制度の改善が必要である。

そこでこれまでに得られた知見に基づき，技術者制度改善案の提案を行う。

(1) 技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）の改善

科学技術・学術審議会技術士分科会により「今後の技術士制度のあり方」²²⁷の中で定められた「技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）」は以下の通りである。

IEA（国際エンジニア連合）の専門職としての知識・能力

- (a) 専門的学識，
- (b) 問題解決
- (c) マネジメント
- (d) 評価
- (e) コミュニケーション
- (f) リーダーシップ
- (g) 技術者倫理

また，JABEE の認定基準に不足し追加すべき技術者の能力（第 V 章で抽出・分析した）は以下の通りであった。

²²⁷ 文部科学省科学技術・学術審議会技術士分科会「今後の技術士制度の在り方について」，pp.1-7，2016

- (1) 先進科学・技術知見
- (2) 技術思想知識
- (3) 俯瞰的システム能力
- (4) 非常想定・対応知見と能力
- (5) 三現主義遂行能力
- (6) コミュニケーション応用能力

JABEE の認定基準に不足し追加すべき技術者の能力と技術士に求められる現行のコンピテンシーとの対応関係を確認しておく。現行の「技術士に求められる資質能力（コンピテンシー）」(a)～(g)に対し、「JABEE の認定基準に不足し追加すべき技術者の能力」(1)～(6)を新たに取り入れることが必要である。

- (1) 先進科学・技術知見は、(a) 専門的学識を分割・深化させた内容に対応する。
- (2) 技術思想知識は、(a) 専門的学識と(d) 評価を分割・深化させた内容に対応する。
- (3) 俯瞰的システム能力は、(b) 問題解決と(d) 評価を分割・深化させた内容に対応する。
- (4) 非常想定・対応知見と能力は、(c) マネジメントの内新たなものを特化させた内容に対応する。
- (5) 三現主義遂行能力は、(b) 問題解決と(d) 評価を分割・深化させた内容に対応する。
- (6) コミュニケーション応用能力は、(e) コミュニケーションと(f) リーダーシップと(g) 技術者倫理を拡張・深化させた内容に対応する。

(2) 技術士試験の改善

現行の技術士試験は、技術士第一次試験、技術士第二次試験（以下、「第一次試験」、「第二次試験」という）に分けて、文部科学省令で定める技術部門ごとに実施されている。

「令和3年度技術士第二次試験大綱」²²⁸では、技術士第二次試験の実施について以下の通り記載されている。

- (1) 技術士第二次試験は、機械部門から総合技術監理部門まで21の技術部門ごとに実施し、当該技術部門の技術士となるのに必要な専門的学識及び高等専門的応用能力を有するか否かを判定し得るよう実施する。
- (2) 試験は、必須科目及び選択科目の2科目について行う。

²²⁸ 日本技術士会、「令和3年度技術士第二次試験大綱」、2020年

試験は、必須科目及び選択科目の2科目について行う。出題に当たって、総合技術監理部門を除く技術部門における必須科目については当該技術部門の技術士として必要な当該「技術部門」全般にわたる専門知識、応用能力、問題解決能力及び課題遂行能力に関するものについて、選択科目については当該「選択科目」についての専門知識及び応用能力に関するもの、並びに問題解決能力及び課題遂行能力に関するものについて問うよう配慮する。

第一次試験では「筆記試験」、第二次試験では「筆記試験」と「口頭試験」が実施され、その試験において、「技術士に求められる資質・能力」²²⁹を、技術士であれば最低限備えるべき資質能力として確認している。しかし、現行の第二次試験では、知識や机上での資質・能力の確認にとどまっており、それ以外の実務経験についての評価が困難である。

以上より、以下(1)～(3)の技術士試験の改善を行う。

- (1) これら「JABEEの認定基準に不足し追加すべき技術者の能力」の(1)先進科学・技術知見～(6)コミュニケーション応用能力、に相当する内容と必要性の理解を確認する内容を、筆記試験に織り込む。
- (2) 同時に筆記試験では確認することが困難な(6)コミュニケーション応用能力、については、口頭試験において、科学技術コミュニケーション演習(例：身近かな科学技術製品の仕組みについて、技術者から公衆への伝達)による実地試験を含む内容とする。
- (3) 知識や机上での資質・能力以外の業務経験について、「(1)先進科学・技術知見」～(6)コミュニケーション応用能力、の各項目を取り入れた、小論文(800字程度)を願書提出時に提出させる。(テーマ例：あなたが主担当として経験した業務のうち(1)先進科学・技術知見～(6)コミュニケーション応用能力、のうち2項目を取り上げ、それらの観点から課題、対応策を述べよ。)

本提案を技術者制度に実装するためには、技術士試験の実施者、受験者の負担増が障壁として懸念される。しかし、それを解決する戦略・考え方としては、前述で提案の通り、従来の枠組みの筆記試験、口頭試験、願書提出時の書類を通じた確認を踏襲する中で(1)～(3)の技術士試験の改善を実施することにより、その懸念は解消される。

²²⁹ 文部科学省科学技術・学術審議会技術士分科会「今後の技術士制度の在り方について」, pp.1-16, 2016

(3) 日本技術士会加入促進

現在，日本技術士会では，「日本技術士会入会の7つのメリット」²³⁰として，以下①～⑦を紹介している．

- ①幅広い技術人脈の形成
- ②技術士の資質向上に向けたプログラムが充実
- ③各種講演会，見学会等への参加
- ④月刊「技術士」で広範な知識・情報を取得
- ⑤日本技術士会主催の技術士業務開業研修会の受講
- ⑥ビジネスに関する情報の入手
- ⑦社会貢献活動に参加

技術士が日本技術士会に入会することにより，①～⑦にとどまらず，さらに以下(i)～(iii)の大きな効果を得ることができる．現状では，そのメリットが十分にアピールできていない，加入促進のため，毎年，地域本部単位で開催される技術士試験合格者歓迎会で(i)～(iii)の入会のメリットのPRを行う．

さらに，企業や組織単位で構成されている技術士会や Web ページ掲載を通じて，非会員にも入会のメリットのPRを行う．

(i) 日本技術士会は21部門のあらゆる技術分野の専門技術者が集まる技術者集団であり，入会することにより，現代では，科学技術の巨大化・総合化・複雑化が進展する中，特に必要とされる技術分野や所属組織に依存しない分野横断的，組織横断的，職業横断的に有用な情報交換，意見交換，交流をすることができる．すなわち，従来メリットとされている「①幅広い技術人脈の形成」にとどまらず，例えば21部門毎に開催される部会では，所属組織に依存しない組織横断的な情報交換，意見交換，交流を行うことができる．また，部門を超えて全部門の技術士が集まる全国大会，年次大会，各種セミナー（情報化セミナー，活性化セミナー等）では，分野横断的な情報交換，意見交換，交流を行うことができる．

単に研究者のみの学会と異なり，課題を設定したシンポジウム（例：防災シンポジウム等）では，技術者以外の研究者や行政担当者，地域コミュニティ関係者や市民を含んだ職業横断的に有用な情報交換，意見交換，交流をすることができる．

(ii) 資質向上のためのCPDに関する有用な情報入手や講習会受講等のサービスを受けることができる．

特に，日本技術士会では，技術者倫理をはじめ，表6-4のCPD課題区分に

²³⁰ 日本技術士会，「公益社団法人日本技術士会入会のご案内」，2020

関する豊富な CPD をタイムリーに受講することができる。さらに、技術分野や所属組織に依存しない分野横断的、組織横断的、職業横断的に有用な CPD 活動に参加することができる。

日本技術士会に入会することで、①全会員、②技術分野 21 部門毎、③地域毎、に CPD 情報を自動的にメール受信が可能となり、CPD 情報を自動的に、タイムリーに把握することができる。

- (iii) 日本技術士会に入会した技術者が、分野横断的、組織横断的な観点から、科学技術や技術者の社会的・技術的課題を共有し取り組むことができる。またその結果、各技術分野内あるいは各組織内での身分処遇面での位置付けの保証強化、技術者としての存在の向上につながる。さらに現行の技術士の日本技術士会への加入率を向上させることにより、日本技術士会の存在の向上につながる。
- (IV) 日本技術士会の存在の向上により、結果として技術士個人の社会的地位や存在の向上にもつながる。
- (V) この技術士 CPD 活動実績の管理及び活用制度に基づき、その適用対象が非会員へも適用拡大される。日本技術士会において会員への CPD 活動実績の実施、「技術士 CPD 活動実績簿」への登録を非会員含み推進する登録、管理の推進を行う。同時に非会員へも技術士 CPD 活動実績の管理及び活用制度、さらに日本技術士会への入会のメリットの PR を行う。これにより、会員の CPD 活動、登録が加速すると同時に、非会員の CPD 活動、登録意欲が推進される。また、同時に、CPD 活動の実施、CPD 登録や CPD 管理等の利便性や有用性の観点から、日本技術士会への加入が促進されることが期待されると同時に予想される。

会員に限定し Web 収録・配信された講演会等についてのオンデマンド配信等、日本技術士会会員限定のオリジナルな教材や日本の技術者の実態に即した教材や事例集を作成することにより、日本技術士会への加入が促進されることが期待されると同時に予想される。

本提案を実装する際に、非会員に対する日本技術士会の存在意義について懸念される。しかし 2021 年 9 月文部科学省が技術士登録簿（「技術士 CPD 活動実績簿」）への登録を非会員含み推進するに過去 5 年の CPD 活動実績登録を公的に制度化し、「技術士の資質向上に関する継続研さん活動の実績の管理及び活用について」の事務を日本技術士会が担うことにより、その対象範囲が非会員を含む技術士全体に拡大した。そのため、この技術士 CPD 活動実績の管理及び活用制度を着実に推進することによりその懸念は解消される。

(4) 資格更新制度

「技術士制度」とは、「科学技術に関する技術的専門知識と高等の応用能力及び豊富な実務経験を有し、公益を確保するため、高い技術者倫理を備えた優れた技術者」の育成を図るための国による資格認定制度（文部科学省所管）²³¹である。

ところが、現行の技術士制度においては、技術士第二次試験合格時点での知識と能力しか確認ができていない。また、技術士法第 47 条の 2 に「技術士は、常に、その業務に関して有する知識及び技能の水準を向上させ、その他その資質の向上を図るよう努めなければならない。」と定められており、全ての技術士に「資質向上の責務」が課せられている。

特に、昨今の急速な科学技術の進歩に伴い技術士として知識や科学技術水準の向上を含めた資質向上の責務という観点から、技術士が現時点で必要とされる資質・能力を確認する仕組みは十分ではない。

一方、海外では米国 PE 制度、英国 CEng 制度では更新制度が導入されていることから、更新制度導入が必要不可欠である。日本技術士会内での CPD 講習を推進するとともに、資格取得後の CPD、資格定期更新の必須化により、社会における技術士資格の認知度向上、信頼性確保、技術士の活用拡大に繋がると考えられる。

前述の技術士 CPD 活動実績の管理及び活用制度に基づき、2021 年 9 月文部科学省が技術士登録簿（「技術士 CPD 活動実績簿」）への登録を非会員含み推進するに過去 5 年の CPD 活動実績登録を公的に制度化した（令和 3 年 9 月 8 日文部科学省省令第 43 号）。日本技術士会会員、非会員を問わず多くの技術士が、この仕組みに基づき CPD 実績の登録が推進、定着されることが期待される。

同時に、社会からより社会的に信用度が高いエンジニアとして資格の国際的通用性が高まる。これを機に国内でも国土交通省や地方自治体での技術者の評価に、より CPD 活動の評価が高まることにより、今後より一層、資格更新制度導入の機運が高まることが期待されると同時に予想される。

そのため、APEC エンジニア等による国際標準化が進む中、常に技術士に求められる資質能力が維持されるように CPD を必須化し、一定の年数毎に更新を行う制度を導入する。

なお、APEC エンジニアにおける資格更新が 5 年単位であることから、運用面

²³¹ 日本技術士会：Web ページ，

https://www.engineer.or.jp/contents/about_engineers.html, 2018-12-18

での整合性、利便性、効率化等を考慮し5年毎の更新とする。

日本技術士会内に資格更新センターを設置し、資格更新の企画、運営、管理にあたるものとする。

具体的な導入方法として、全ての技術士を5年間で更新を行うものとし、例えば会員番号下一桁の数字により5グループに分け(1グループ:下一桁が「1」「2」、～5グループ:下一桁が「9」「0」)更新年度を決定し、所定のCPD確認と講習会受講を更新条件とする。

本提案を実装する際、非会員を含むとその膨大な対象者数が懸念されるが、リモート講習やYouTube配信を活用推進することにより、その懸念は解消される。

(5)CPDの改善

資格更新制度の導入にともない、資格更新にあたり、一定のCPD活動登録と更新講習受講を条件とする。これにより、実質的に一定のCPD活動が必須化となる。

一方、技術士の責務としてのCPDの必須化を目標に、日本技術士会があらたに担うこととなった技術士CPD活動実績の管理及び活用制度を、大学単位、企業単位や組織単位に、会員だけでなく、非会員へもPRを行う。これにより、会員、非会員を問わず多くの技術士が、この仕組みに基づきCPD実績を登録することが推進され、定着されることが期待され、実質的なCPDの必須化につながることを期待できる。また、従来のCPD登録は、表6-4の課題項目、形態区分単位での入力、総時間表示となっており、コンピテンシーの項目毎の登録・管理に変更する。これにより各コンピテンシーにおける学習の達成度を測ることができる²³²。

特に「(g)技術者倫理」については、国際エンジニアリング連合のコンピテンシーとして、その履修が求められているが、現行、技術士のCPDとしては、履修が必須化されていない。一方、2015年度の審査からは、APECエンジニアの新規審査においては申請前過去2年度100CPD時間のうち少なくとも1CPD時間、更新審査においては申請前過去5年度250CPD時間のうち少なくとも1CPD時間、倫理に関するCPDを計上することを要件とされている。APECエンジニア資格を有する技術者に限らず、その元となる資格である技術士に対しても、技術者倫理に関するCPDを必須化する。

大学での工学教育に引き続き「JABEEの認定基準に不足し追加すべき技術者の

²³² 本分析・提案は2021年度ベースの状況を基に実施されている。なお、2022年4月以降のCPD活動の資質区分と形態区分は一部改訂された。

能力」((1)先進科学・技術知見～(6)コミュニケーション応用能力)に、CPDの達成度を評価するために、既述の表5-2と同内容のルーブリック評価を導入し、最新の達成度を年度毎に評価・管理を行う。これより、必要な能力を網羅したCPDを推進することができるとともに、技術者の資質能力に向上に大きく寄与することが期待し予想される。以上を、表6-7に技術者制度改善案の提案としてまとめた。

表6-7 技術者制度改善案の提案

	項目	現行	改善案	備考
1	コンピテンシーの改善	IEA(国際エンジニア連合)の専門職としての知識・能力 (a) 専門的学識, (b) 問題解決 (c) マネジメント (d) 評価 (e) コミュニケーション (f) リーダーシップ (g) 技術者倫理	JABEEの認定基準に不足し追加すべき技術者の能力(1)～(6)を新たにコンピテンシーに取り入れる (1) 先進科学・技術知見 (2) 技術思想知識 (3) 俯瞰的システム能力 (4) 非常想定・対応知見と能力 (5) 三現主義遂行能力 (6) コミュニケーション応用能力	【現行と改善案の対応関係】 (1) (a)を分割・進化 (2) (a)を分割・深化 (3) (b) (d)を分割・深化 (4) (c)の内新たなものを特化 (5) (b) (d)を分割・深化 (6) (e) (f) (g)を拡張・深化
2	技術士試験	①筆記試験(コンピテンシー確認) ②口頭試験(経歴と応用能力、知識(技術者倫理、技術士制度)) ③知識や机上での資質・能力以外の業務経験について評価が難しい	①筆記試験で(1)～(6)のコンピテンシーを新たに取り入れた能力を確認する ②口頭試験 ・能力の実地試験含む(コミュニケーション応用能力) ③上記(a)～(g)の各項目を取り入れた業務経験の小論文を願書提出時に提出させる	小論文、筆記試験、口頭試験より構成
3	日本技術士会への加入促進	①加入任意	①非会員への日本技術士会入会のメリットPRによる加入促進 ②「技術士CPD活動実績簿」への登録を非会員含み推進する ③日本技術士会会員限定のオリジナル教材や日本の技術者の実態に即した教材や事例集の作成	
4	資格更新制度	①更新制度なし 自己研鑽、資質能力維持面で脆弱	①更新制度を導入する、 技術士CPD活動実績簿へのCPD登録推進	5年に1回の資格更新
5	CPD(継続研鑽)	①技術士の責務であるが、資格維持上必須ではない ②コンピテンシー項目毎の登録・管理になっていない ③CPDの達成が時間数のみとなっており達成度が評価されていない	①技術士の責務であり必須化する(技術士法47条の2「資質向上の責務」) ②コンピテンシー項目毎の登録・管理とする ③CPDの達成度を評価するために新規能力項目(1)～(6)にルーブリック評価を導入する	

以上(1)～(5)により、優れた技術者制度を整備、運用することが可能となり、大学における工学教育に引き続き、卒業後の社会での技術者教育を円滑に接続しその内容を充実させることができる。そして「JABEEの認定基準に不足し追加すべき技術者の能力」を備えた技術者を育成、活用することが可能となる。

また、技術士資格の公的活用が拡大し、米国 PE 制度や英国 CEng 制度と同様により優れた技術者制度となりうる。同時に、我が国の科学技術の適正な運用と進歩に大いに貢献することが期待され、予想される。

第Ⅶ章 結論

本論文では、科学技術の巨大化・総合化・複雑化，および不確実性下の工学教育と技術者制度のあり方について

- ①工学教育はどうあるべきか？
- ②技術者制度はどうあるべきか？

以上2つの課題に対する解決策を提案している。

第一部では科学技術の事例分析を行った。

事例分析では、第Ⅰ章で「福島第一原子力発電所事故」を取り上げ、国会、政府、民間、東京電力という4つの「福島原子力発電所事故調査委員会」の調査結果を分析し、その事故原因の分析と対策を「事故原因と対策」としてまとめた。

次に、技術者がどのような能力を備えておれば、この福島第一原子力発電所事故の発生、拡大を防止することができたか、「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」として整理、分析した。

さらに、第Ⅱ章と第Ⅲ章では、福島第一原子力発電所以外の事例として、2004年「六本木ヒルズ回転ドア事故」を、1956年「水俣病」を取り上げ、事故原因について分析を行った、また、成功事例として、1990年「女川原子力発電所建設工事」と2012年「福島原子力発電所アクシデントマネジメント」、1968年「イタイイタイ病対策」を取り上げ、事故原因について分析を行った。

第Ⅳ章で前述の「事例分析から導かれる技術者に求められる能力」の妥当性の検証を行った。

第二部では、第Ⅴ章で、まず日本の工学教育の現状の分析を行った。そして、第Ⅰ章から第Ⅳ章で分析した、「これからの技術者に求められている能力」を整理し、現状の工学教育としての「JABEEで求められる」能力と比較し、追加すべき能力を「JABEEの認定基準に不足している技術者の能力」として、(1)先進科学・技術知見、(2)技術思想知識、(3)俯瞰的システム能力、(4)非常想定・対応知見と能力、(5)三現主義遂行能力、(6)コミュニケーション応用能力、を提案した。

さらにその能力をより積極的に自発的に身につけるために「新たな工学教育、新規科目」として、「科目1：技術災害事例研究」、「科目2：科学技術コミュニケーション演習」を提案した。

さらに第Ⅵ章では、日本の技術者制度について代表的な専門技術者制度である「技術士制度」を取り上げ、その現状と「技術士に求められる資質・能力」の現状について、分析、整理を行った。

さらに、海外の技術者制度として、代表的な米国 Professional Engineer (PE)

制度と全米 PE 協会 (NSPE : National Society of Professional Engineer), 及び英国 Chartered Engineer (CEng) 制度を取り上げ, 日本の技術士制度と, 米国 PE 制度, 英国 CEng 制度との比較分析を行った.

以上に基づき, 技術者制度改善案について, 以下(1)~(5)の5項目について提案を行った.

- (1) 技術士に求められる資質能力 (コンピテンシー) の改善
- (2) 技術士試験の改善
- (3) 日本技術士会への加入促進
- (4) 資格更新制度
- (5) 継続研鑽 (CPD) の改善

以上, 「科学技術の巨大化・総合化・複雑化, および不確実性下における工学教育と技術者制度のあり方について」の分析, 提案を行った. これらの提案により科学技術の巨大化・総合化・複雑化, および不確実性下において優れた工学教育と技術者制度を整備, 運用することが可能となり, 我が国の科学技術の適正な運用と進歩に大いに貢献することが期待されると同時に予想される.

参照文献

(日本語名称はローマ字にした上でアルファベット順に記載)

千葉大学(2012)「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究報告書」文部科学省 平成 22, 23 年度先導的大学改革推進委託事業

ダネル・スティーブンス+アントニア・レビ (2014)「大学教員のためのルーブリック評価入門」玉川大学出版部

電気学会倫理委員会編 (2014)「事例で学ぶ技術者倫理—技術者倫理事例集 (第 2 集)」

札幌野順 (2004)「技術者倫理」, 放送大学教育振興会

藤井春雄 (2009)『よくわかる「ジャスト・イン・タイム」の本』日刊工業新聞社

藤垣裕子編 (2005)「科学技術社会論の技法」, 東京大学出版会

藤森隆郎 (1999)「森林における野生生物の保護管理 生物多様性の保全に向けて」, 日本林業調査会

福島原発事故独立検証委員会 (民間事故調) (2012)「調査・検証報告書」, 日本再建イニシアティブ

原子力安全委員会 (1999)「ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告の概要」

原子力規制委員会 (2016)「実用発電用原子炉に係る新規規制基準の考え方について」

橋本道夫 (1988)「私史環境行政」, 朝日新聞社

東日本大震災合同調査報告書編集委員会「東日本大震災合同調査報告 機械編」, 日本機械学会

平川秀幸 (2005) 「遺伝子組換え食品規制のリスクガバナンス」 藤垣裕子編『科学技術社会論の技法』 東京大学出版会, pp. 133-154

平川秀幸 (2005) 「遺伝子組み換え作物の栽培に関する検討委員会 (東京) 報告の論点整理」, 遺伝子組換え作物の栽培に関する検討委員会「東京都における遺伝子組換え作物の栽培に関する検討報告」 pp. 49-53

畑村洋太郎 (2007) 『だから失敗は起こる』, NHK 出版

広瀬 信 (1985) 「イギリスにおける技術者養成の歴史的展開」 教育学研究」 第 52 巻 第 1 号, pp. 112-121

細田龍介 (2001) 「英国における技術者資格認定について」 日本造船学会誌, 862 巻, pp. 455-457

IEA GA&PC 翻訳ワーキンググループ (2012) 「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」. IEA Graduate Attributes and Professional Competencies の翻訳にあたって」 文部科学省先導的の大学改革推進委託事業. 技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究

井野博満 (2017) 「脱原発の技術思想」, 岩波書店『世界』 2, pp. 183-200

イタイイタイ病訴訟弁護団編 (1973) 「イタイイタイ病裁判 第四巻 判決資料」 総合図書

自動回転ドア事故防止対策に関する検討会 (2004) 「自動回転ドア事故防止対策について」, pp. 1-32

梶雅範 (2005) 「イタイイタイ病問題解決にみる専門家と市民の役割」, 藤垣裕子編「科学技術社会論の技法」, 東京大学出版会, pp. 21-42

経済産業調査室・課 (2012) 「福島第一原発事故と 4 つの事故調査委員会」, 調査と情報第 756 号

近畿化学協会 (2019) 「技術者による実践的工学倫理 (第 4 版)」, 化学同人

- 小林修（1989）「年表昭和の事件・事故史」，東方出版
- 黒田光太郎・戸田山和久・伊勢田哲治編（2012）「誇り高い技術者になろう（第二版）」名古屋大学出版会
- 松波淳一（2002）「イタイイタイ病の記憶」，桂書房
- 村上陽一郎編（1981）「知の革命史 7 技術思想の変遷」，朝倉書店
- 文部科学省（2018）「国際的通用性検討作業部会検討結果報告」
- 文部科学省科学技術・学術審議会技術士分科会（2016）「今後の技術士制度の在り方について」
- 村岡健次（1996）「ヴィクトリア時代の政治と社会」，ミネルヴァ書房
- 中尾政之（2016）『続々失敗百選』，森北出版
- NHK 取材班（1995）「NHK スペシャル戦後 50 年その時日本は 第 3 巻」，日本放送出版協会
- 日本学術会議 総合工学委員会 原子力事故対応分科会（2014）「報告 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」
- 日本技術者教育認定機構（JABEE）（2015）「2013 年度自己評価書」
- 日本技術者教育認定機構（JABEE）（2019）「「認定基準」の解説」
- 日本技術士会（2001）「日本技術士会 創立五十周年記念誌」
- 日本技術士会（2001）「科学技術に係るモラルに関する調査報告書」
- 日本技術士会（2017）「技術士 CPD（継続研鑽）ガイドライン（第 3 版）」

- 日本技術士会 (2018) 「技術士制度改革について (提言) (中間報告その2)」
- 日本技術士会 (2018) 「技術士制度改革について (提言) 「最終報告」」
- 日本技術士会 (2020) 「令和3年度技術士第二次試験大綱」
- 日本技術士会 (2020) 「公益社団法人日本技術士会入会のご案内」
- 日本技術士会 (2021) 「技術士制度について」
- 日本技術士会 (2021) 「技術士 CPD ガイドライン」
- 日本工学協会 (2000) 「技術者教育におけるア krediyteeshon システムに関する調査報告書 (文部省委嘱調査)」
- 日本プロフェッショナル・エンジニア協会 (2014) 「日本人エンジニアのためのプロフェッショナル・エンジニア (PE) ハンドブック」
- 大島達治 (2015) 「技術放談」, 大成印刷
- 坂本憲一 (2003) 「21 世紀における北東アジアの経済発展と環境」, 島根県立大学北東アジア地域研究センター, 『北東アジア研究』 第 5 号, pp. 19-33
- 坂本賢三 (1981) 「第三章 技術的発達と近代科学」, 村上陽一郎編「知の革命史 7 技術思想の変遷」 朝倉書店, pp. 73-102
- 産業環境管理協会公害防止管理者試験センター (2021) 「令和3年度公害防止管理者等資格認定講習案内書」
- 産業基盤整備基金 (1999) 「工学教育の外部認証制度 (ア krediyteeshon) の導入促進に関する調査報告書」
- 沢井裕 (1973) 「イタイイタイ病裁判の歴史的意義」, イタイイタイ病訴訟弁護団編 (1973) 「イタイイタイ病裁判 第四巻 判決 資料」 総合図書, pp. 350-360

篠田庄司 (2001) 「大学における技術者教育と改革の方向」, 電子情報通信学会会誌, 84-1, pp. 57-67

宍倉正展, 岡村行信 (2010) 「平安の人々が見た巨大津波を再現するー西暦 869 年貞観津波ー」 AFERC NEWS No. 16 2010. 8, pp. 1-10

杉本泰治 (2006) 「技術者資格ープロフェッショナル・エンジニアとは何か」, 地人書館

杉本泰治・高城重厚・橋本義平・安藤正博 (2008) 「大学講義 技術者の倫理 学習要領」 丸善

杉田本宜 (1959) 「情報と制御の理論 (cybernetics) と新しい技術思想」, 『一橋大学研究年報. 社会学研究』, 2: pp. 101-144

杉山滋郎 (2005) 「水俣病事例における行政と科学者とメディアの相互作用」, 藤垣裕子編 「科学技術社会論の技法」, 東京大学出版会, pp. 3-20

杉山滋郎 (2005) 「科学技術と社会とのコミュニケーション」, 新田孝彦・蔵田伸雄・石原孝二編 「科学技術倫理を学ぶ人のために」 世界思想社, pp. 195-221

田岡直規 (2011) 「現代の科学技術における技術者倫理」, 技術士 2011. 3, pp. 4-7

田岡直規 (2011) 「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術者倫理」, 技術倫理研究第 8 号名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp. 17-32

田岡直規 (2015) 「原子力における技術者の社会的責任」, 技術倫理研究第 12 号, 名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp. 41-58

田岡直規 (2018) 「福島原子力発電所事故の原因分析に基づく工学教育改善策の提案」, 工学教育 66-4, pp. 13-20

田岡直規 (2019) 「福島原子力発電所事故の原因分析に基づく技術者教育と技術

者制度改善策の提案」, 工学教育 67-3, pp. 45-51

田岡直規 (2019) 「巨大化・総合化・複雑化した科学技術における技術思想伝承の成功例と失敗例」 技術倫理研究第 16 号名古屋工業大学 技術倫理研究会編, pp. 1-16

田岡直規 (2021) 「これからの技術者に求められる能力～不確実性下の科学技術事例を教訓として」, 工学教育 69-5, pp. 55-61

津田敏秀 (2014) 「医学者は公害事件で何をしてきたのか」 岩波書店

東京電力 (2002) 「柏崎刈羽原子力発電所のアクシデントマネジメント整備報告書」

東京電力(東電事故調) (2011) 「福島原子力事故調査報告書(中間報告書 別冊)」

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調) (2011) 「中間報告」

東京電力(東電事故調) (2012) 「福島原子力事故調査報告書」

東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調) (2012) 「報告書」

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調) (2012) 「最終報告」

謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教官として終始熱心にご指導を頂きました名古屋大学大学院情報学研究科教授の戸田山和久先生には，深く感謝申し上げます。

また，本論文執筆のきっかけとなりました公益社団法人日本技術士会での技術者倫理研究の活動にあたり，公益社団法人日本技術士会の倫理委員会，登録技術者倫理研究会，中部本部倫理委員会（旧 ET の会），近畿本部倫理委員会の皆様にはさまざまな観点からご指導，ご支援頂きました。また，公益社団法人日本工学教育協会技術者倫理調査研究委員会の皆様，一般社団法人近畿化学協会工学倫理研究会の皆様には，技術者倫理の研究や教育活動を通じてご指導，ご支援を頂きました。名古屋大学大学院情報学研究科准教授の久木田水生先生はじめ戸田山・久木田研究室の皆様には，温かいご指導ご鞭撻を賜りました。あらためまして，関係者の皆様に深く感謝申し上げます。