

技術の開発利用に係る安全問題について考える

神戸商船大学名誉教授 西川 栄一

はじめに

東北地方太平洋沖地震・津波（20110311/1446 発生、M9.0）で被災した東京電力福島第1原子力発電所1～4号機が過酷事故に陥って甚大な放射能汚染を引き起こしています。汚染影響は海陸空域自然生態圏ばかりでなく社会圏にも底知れぬ被害をもたらしつつあり、原発という技術利用の安全問題が、日本はもとより世界的にも大きな論議を呼んでいます。最近の大きな技術事故では5年前にJR西日本福知山線尼崎駅付近での列車転覆脱線事故（20050425/0919 発生、死亡107人、負傷460人）があります。

前者、フクシマ事故の直接原因は地震津波ですが、大きな地震津波に見舞われたら原発災害になるのではないかという指摘は以前からさまざまに行われていましたが、国や東電は安全対策は十分と答えてきました。しかし実は十分でなかったことがフクシマ事故で露呈し、原発利用に係る安全体制が大きく問われることになっています。後者、鉄道事故の直接原因は運転士のブレーキ操作遅れによる過大速度走行とされていますが、ATS装置未整備と関わってJR西会社の組織事故ではないかとの指摘が多方面からなされ、当時の社長らが訴追される経過になっています。

それでここでは、技術とそれを利用する社会や人との関係に注目しつつ、両事故の経過などをみて、技術の開発利用にかかる安全問題について考えてみたいと思います。

1 人、技術、安全・環境

11 人と技術

◇技術の開発利用目的

人がその目的を、より効果的に、より安全に、達成するために自然力を導入する手段

◇技術の自然性と社会性

自然性……技術は自然法則に従うので人の思い通りにならない

社会性……どんな技術を開発し、どう使うかは人の意思が決める

12 技術利用と環境

◇環境……自分自身からは制御できないが、自分が正常に活動するためには整っていないかならな
い周囲条件の総体。外界と何らかの交渉を行う主体があってはじめて環境概念は意味を持つ。

◇資源環境と廃棄物環境

資源・エネルギーを採り込む環境と、使用して不要になった廃棄物を捨てられる環境が存在していなければ、技術の開発利用は不可能。

◇自然環境と社会環境

自然環境に加えて、人は先人が築いた技術体系（ハードシステムとともに行政や医療・教育・文化など多様に組みあがったソフトシステム）による人工の環境（社会環境）も不可欠

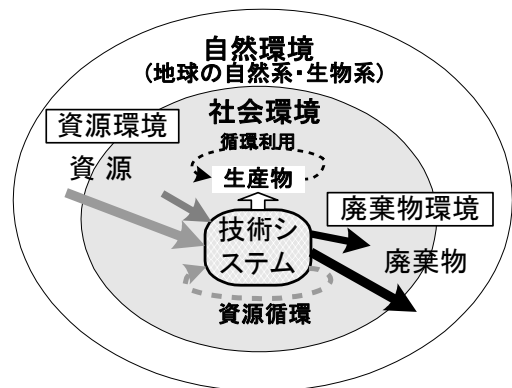


図1 技術利用と環境の関係

13 技術の開発利用と安全問題

◇実際の技術が持つ性質（技術の自然性に起因する）

*完璧な技術はつくれない（完全に予測通りにふるまう技術はつくれない）

*新しい技術には未経験の事故の可能性（故障・事故から学べ）

*技術は使用とともに劣化する

*事故ゼロ・絶対安全の技術は存在しない

◇安全面からみた技術の開発利用の原則

①性能・製造限界を利用規制でカバーする

②対応不能の破局事態が生じる可能性があるような技術の開発利用は行わない

（破局事態は確率的生起可能性では評価できない）

これらは技術の利用のあり方の原則だから技術の社会性が関係してくる

◇技術の利用における安全維持向上の仕組み

以上の次第だから、ふつうは

図2のように、運転時の状態を監視してフィードバック回路を設けている。

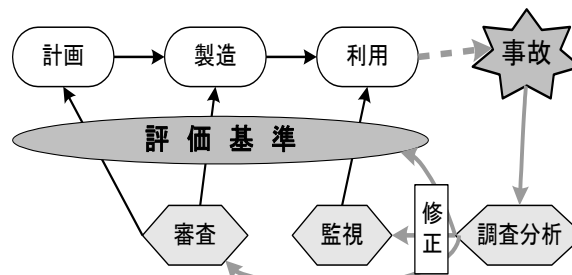


図2 技術の開発利用に安全維持の過程

2 福知山線列車事故

2.1 鉄道技術の特徴

◇交通機関は“スピードがいのち”というほどスピードが重視され、交通技術発達史はスピード発達の歴史といっても過言ではありません。

[ノート] 交通システムは移動体（搬具）、路線（ルート）及び駅（ターミナル）の3要素からなる。ここでは、移動体は走行装置と原動機を装備しているものとして、交通機関と呼んでいる。

◇交通事故の大半は衝突であり、閉塞領域の確保が決定的に重要。

[ノート] 閉塞領域とは走行中の交通機関が衝突を避けるために自分の周囲に設ける他物体を排除する領域。ラッシュアワー時のプラットフォームなど混雑した人の歩行交通で、各人のふるまいを見るとわかりよい。鉄道は専用軌道（他物体の進入排除）と信号システム（他列車進入排除）、及びスピード規制（自列車逸脱防止）で閉塞領域を確保

◇自動列車停止装置ATS（automatic train stop）

*運転士のヒューマンエラーによる閉塞領域破断を防止するため、信号システムに対応して自動的に列車を停止させる装置

*機能（目的）は大別して2つのシステム

赤信号冒進防止……他列車閉塞領域進入防止

速超運転防止……脱線、転覆などの防止

[ノート] ATSより進んだシステムに自動列車制御装置ATC（automatic train control）。指令センターで列車全体を運行管理する。新幹線は全線この方式、在来線、地下鉄などでも採用している路線がある

2.2 スピードアップと安全性

◇メーカー（交通輸送企業）にとって、スピードアップは不断に目指される目標

[ノート]スピードの価値は機会損失モデルで説明される。ユーザ（旅客や荷主など運ばれる側）は運賃だけでなく、移動時間という（陰の）コストも払っているというモデル。

[ユーザのコスト]

$$=[運賃]+[移動時間] \times [時間価値]$$

このモデルは交通輸送問題だけでなく、広く、メーカーとユーザのコスト関係一般を説明し、人間の活動に関する時間の問題を明示的に説明する非常に基本的なモデルである。とくに交通輸送分野でこのモデルが広範に利用される

のは、移動のために時間がかかるということが利用者の目に見えた関心事であるためであろう。

◇安全性維持の視点に立つと速度限界はじめさまざまな制約が存在する。

軌道と信号システムとスピードとの間には密接な関係があり、安全走行のためにはそれらのマッチングが重要。

◇速度限界に近づくほど事故リスクは増大するから、高速化に応じて安全対策を充実強化する必要があるが、それはコスト増を伴う。

＜鉄道のスปีドアップと制約限界＞	
■脱線（乗り上がり脱線、転覆脱線）防止	
◇速度限界（直線部、曲線部、分岐点）	
◇気象限界（風速、降雨、降雪など）	
◇振動・動揺限界	
■衝突防止	
◇列車相互・閉塞性の確保（閉塞信号システム）	
◇対障害物・閉塞性の確保、寸法限界、制動停止限界	
■軌道限界（強度、設置狂い、カント、緩和曲線など）	
■乗り心地・・・加減速度限界、振動・動揺限界	
■環境問題・・・騒音限界、振動限界など	

23 福知山線事故

◇航空・鉄道事故調査委員会の報告書（RA2007-3-1、2007/6/28）が明らかにした主な事故要因

- A 達成困難な最速運行計画
- B 必要な運転資料を運転士に提供していなかった（運転図表、ブレーキ図表など）
- C 運転士に厳しい遅延罰則で「回復運転」（遅れを取り戻すためのスピードアップ運転）を課す
- D 事故した列車の場合、回復運転は伊丹駅～尼崎駅間の最高速度運転でしか不可能
- E 運転士が頼る速度計とブレーキ装置に誤差や欠陥あったが放置されていた
- F 速度超過防止のためのATS装置の設置計画を再三先延ばしして事故当時は未整備
- G 運転士、注意逸らせてブレーキ操作が遅れた
- H JR西会社の厳しい罰則が「運転士の注意逸らせ」を引き起こした（事故調の推定）

◇事故調報告はGを直接原因、間接要因としてHをあげているが、A～Fが重要な背景要因として関わっているとみられ、訴訟や「事故調・検証委員会」などで大きな論点となっている。

[ノート]Gを除いて他はすべてJR西会社（経営組織）の役割に属する。またGの「ブレーキかけ遅れ」は、頻繁に起こっているヒューマンエラーであり、発生を前提にした安全対策（ATS）が必要な典型的要因である。経営組織はしかし、ATSは整備せず運転士に厳罰を課すことでこのヒューマンエラーを抑えようとしていたと思われる。ただしJR西会社は、おおよけには、「運転士が制限速度を超えて運転するなどあり得ない、ATS装置が必要とは考えていなかった」と表明している。

[ノート] 事故調査委メンバにJR関係者OBがいて、この委員からJR西会社幹部への情報提供、JR西会社から委員を介しての、調査報告内容への介入工作が行われていたことが発覚し、問題となった。

◇こうみても、事故を起こした主要な要因は技術の社会性の側にあったのではないかとみられる。

3 福島原発事故災害（ボイラ・蒸気動力学の視点から）

31 軽水炉原発技術の特徴

◇内部（炉心）に膨大な核燃料と放射性物質を抱えている

◇発熱反応を停止させる操作で負荷制御

[ノート]火力発電など一般の熱機関はフロー方式で外部から燃料供給、反応生成物を外部へ排出。発熱反応を起動させる操作で負荷制御。異常時はとにかく燃料供給止めれば何とかなる。

- ◇熱発生密度が非常に高く、冷却（熱除去）機能に異常生じれば分秒単位の対応必要
- ◇運転停止後も崩壊熱発生し、長期に（何年も）冷却が必要
- ◇四六時中放射能漏れの恐れつきまとい、嚴重な放射能管理（閉じ込め）が必要

[ノート]異常時は压力容器（原子炉本体）を収めてある格納容器は、放射能漏れを防ぐため配管類がすべて自動的に遮断され、外部と隔離される（閉じ込める）ことになっているが、しかし崩壊熱は外部へ除去しないとけないから、完全な隔離はできない。また压力容器には安全弁が付いているが、格納容器には、放射能を閉じ込めるのがその役目だから、安全弁はついておらず、マニュアル操作の逃し弁（ベント弁）のみである。

崩壊熱除去機能が喪失すると、压力容器の圧力が上昇するが安全弁が開いて破裂はしない。しかし安全弁からの蒸気などは格納容器内へ放出されるから、格納容器内に崩壊熱が蓄積し、格納容器の圧力が上がってくる。破裂を防ぐには運転員の意味でベント弁を開けねばならない。しかしベント弁開くことは、意図的に放射能を外部へ放出することになるわけで、重い決断を迫られる。

閉じ込めと崩壊熱除去は矛盾する操作であり、緊急時の対処が困難をきたす。福島原発事故経過でも、この辺りが事故対応で最も緊迫した所であったように思われる。

- ◇廃棄物環境が見つかっていない（放射性廃棄物は何千年何万年管理必要で放置できない）
- ◇事故・故障時、人が機側へ近づけず、修復作業が困難

32 地震多発国の原発多数立地とその危険性

◇図3は1900年以後死者千人以上の地震多発国11国とその国の利用原発数である。国土面積当たりで見れば日本は地震最多発国で、しかも原発の数は断トツに多い。こんな国は世界にない。

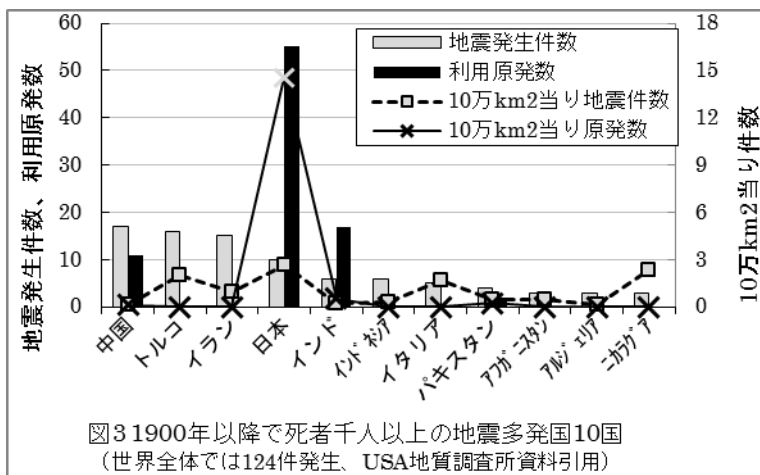


図3 1900年以降で死者千人以上の地震多発国10国
(世界全体では124件発生、USA地質調査所資料引用)

◇早くから指摘されていた危険性

- ①原発技術の特徴に起因する危険性、重大事故になったら手に負えない
- ②日本は地震津波多発国。地震津波に見舞われたら重大事故になる恐れが大きい
- ③日本の原発利用は、技術開発利用の定石を踏まず、基礎研究に基づいた自主技術開発過程を抜きにして、海外から実物技術を丸ごと導入、大型化されてきた。ために複雑巨大システム及び放射能管理に必要な、安全管理や事故対応の知見・能力が育っていない。

これらは推測だけの指摘ではなかった。①はスリーマイル島原発やチェルノブイリ原発の事故があったし、②は、阪神淡路大震災頃から地震頻度が増し、この数年東電柏崎刈羽原発など地震に見舞われる原発が出始めており、“地震からの警告”が起こっていたのに、原発“専門家”はまともに対応せず、そして③については万全の対策ありとやってきたが、福島原発事故で実態が露呈した。

33 日本の原発推進体制

どうしてこのような危険極まる原発の開発が可能だったのだろうか。途中でチェックできなかったのだろうか。下記のようにいろいろな視点からの指摘がある。

- ◇国家戦略「原子力の平和利用」のもとで進められてきた原発推進政策
- ◇原発推進政策の主務担当である経産省の下に原子力・安全保安院を設置するなど、第三者検査原

則を無視した推進側主導の安全審査体制

◇事業者、自治体、研究者などへのさまざまな財政措置（立地、事業会計、研究開発など）、電力事業者や原発メーカーには原発で儲かる仕組み

◇電力事業巨大経営体の、意思決定過程からチェックの仕組みを排除したコスト優先経営、人事と財力で政治家に大きな影響力

◇世論工作、マスメディア・タレント動員した「安全神話」の流布

◇原発開発の50年、偶然地震空白期に当たり、地震（自然災害）軽視につながった（図4）

これら指摘は、ほとんどすべて技術の社会性に関わる問題であり、原発利用を推進しようとする側の人や組織のふるまいが原因していると読み取れる。

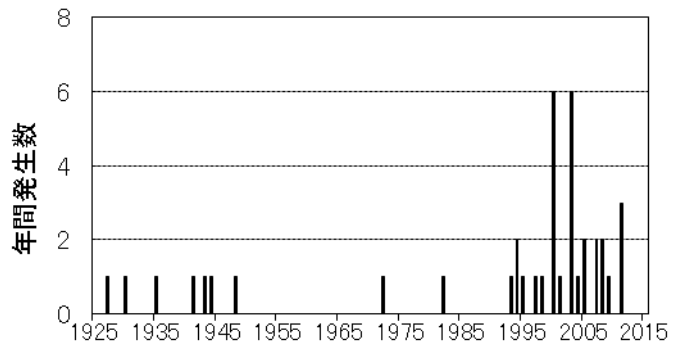


図4 1926年以後の震度6又は6弱以上の発生地震（気象庁資料による）

4 人・技術システムと第三者検査原則の重要性

4.1 第三者検査原則の重要性

◇技術システムに関わる3つの立場（石谷清幹、工学概論、コロナ社、1972）

先に述べたように、技術の開発利用のあり方には、その技術に関わる人の意思が強く関係する。だからいかなる技術でもその挙動をみるには人・技術システムという視点が不可欠である。とりわけ安全問題ではそうである。安全のための原則を守るには、人々の意思がどのように関わるのか、そのことを考慮しなければならない。社会の中で利用されているある技術（システム）に注目した時、社会の人々はその技術とどのようにかかわっているのだろうか。石谷によれば3つの立場に分けられる（石谷清幹、「工学概論」、コロナ社、1972）。

当事者 メーカー（その技術を開発利用してモノやサービスを生産してユーザに提供する立場）、

ユーザ（生産されたモノやサービスをメーカーから入手して利用する立場）、

非当事者 第三者（メーカーでもユーザでもなくその技術と関わりを持たない立場）

◇社会というシステムにおけるこれら3者の関係は図5のようになっている。ユーザがメーカーからモノやサービスを手にするのは、ユーザ自身の目的があり、それを達成するための手段としてそれらを利用するためである。だからユー

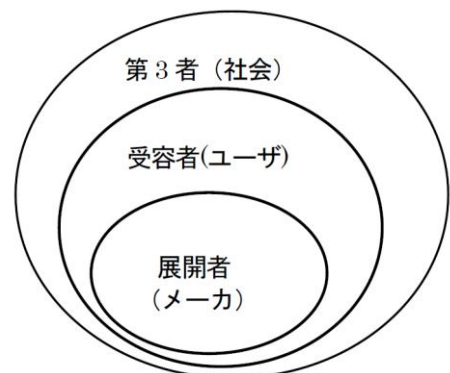


図5 人の立場とシステムの階層構造

ザのシステムから見れば、メーカーは手段入手のための部分システムということになり、ユーザのシステムは1つ上の階層システムという関係になる。というわけで3者は図のように3つの階層システムに位置する関係にあり、第三者は最も上位の全体システムに属している。

◇石谷は、当事者（メーカーとユーザ）間贈収賄関係成立の可能性があり、当事者だけに任せておくと、その技術システムの安全水準は低下していく恐れがあるという。

◇この意味は、安全問題は被害者は、当事者だけでなく社会にも及ぶから、社会全体にかかわる問題であり、社会という全体システムの立場から評価されねばならないが、メーカーもユーザもそれぞれ

自分が関わるシステム（社会全体から見れば部分システム）の目的達成を優先してその技術システムを評価するからである。部分最適が全体最適になるとは限らず、全体システムの立場からの評価が必要である。全体システムの立場に立ち得るのは当該システムに関わりを持たない第三者であり、ここに第三者検査原則の重要性がある。

42 企業における技術利用活動と人の関わり

- ◇企業システムの人（組織）は2つのグループ、経営組織と運用組織に大別されるだろう。経営組織と運用組織とでは、その任務の違いから人・技術システムへの関わり方が全く異なる。
- ◇事故や故障の事象としての過程は物理的であり、事故調査や検査は技術の自然性の側面が注目される。人と技術のかかわりについても、専ら運用組織と技術との関係に焦点が当てられ、マンマシンシステムというモデルを利用して、そのシステムにおけるヒューマンファクタ（人的要素）のふるまいと安全性との関係が調べられる。
- ◇経営組織のふるまい（意思決定）が事故故障や安全性にどう関わっているかについては、しかし企業風土とか安全文化とか、倫理意識の範疇で議論され、客観的な分析対象にはなっていないのではなかろうか。しかし技術の整備、運用、運用人員、保守など、技術の開発利用の実態のほとんどは経営組織が決める。経営組織は技術の社会性の側面に強く関わっている。技術の安全問題については、マンマシンシステムだけでなく、経営組織やその意思決定過程の関わりが重視されるべきで、その視点からの人・技術システムととらえた分析が必要であろう。

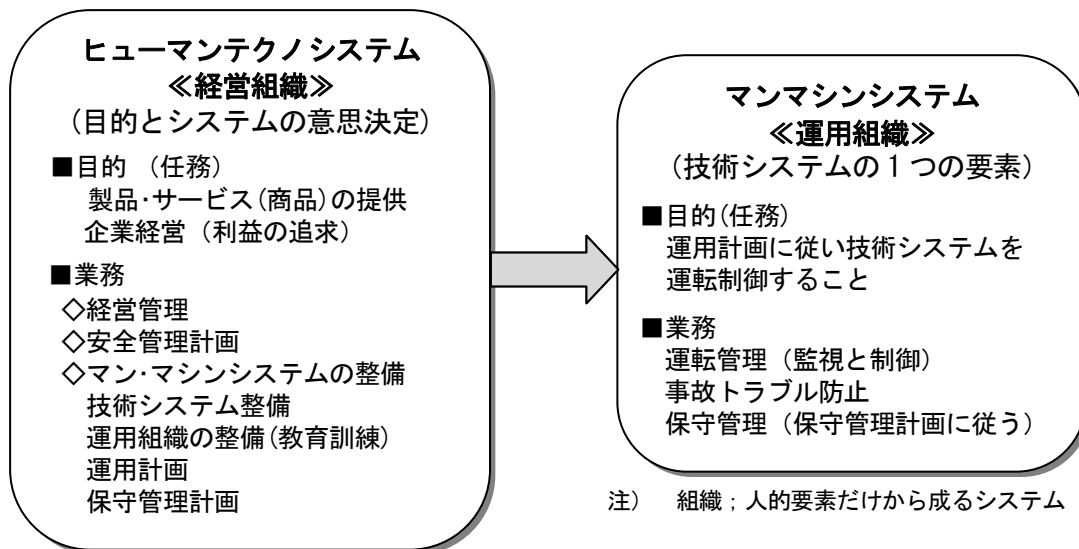


図6 企業における人・技術システムの枠組み

◇図6は、企業システムの人・技術システムを、いま述べた視点から明示したものである。経営組織の技術システムへの関わりは、従来のマンマシンシステムのように技術システムに組み込まれた1要素ではなく、経営組織はどんな技術を開発導入し、それをどのような使い方をするか、技術の開発利用のあり方を決定するという関係にある。それで図では従来のマンマシンシステムと区別し、ヒューマンテクノシステムと名付けてある。企業システムは、ヒューマンテクノシステムとマンマシンシステムからなる人・技術システムということになる。

◇ヒューマンテクノシステムにおける人（経営組織）の任務は、モノやサービスを生産し、それらを商品として市場に出して利益をあげ、企業経営を行うことである。市場経済の下では利益の追求は

競争になっているから、不断にコスト低減の厳しい要請が課されている。一方で社会からは、その生産過程及び生産したモノやサービスの安全性が要請されているのであるが、安全性維持は企業経営直接の目的ではなく、しかも安全対策はコスト増につながり、利益追求と相反する場合が多い。経営組織はこのような要請の中で、技術システムの開発整備、運用組織（従業員）の整備、運用管理計画などを決めないといけないわけで、複雑な意思決定を迫られているといえよう。

- ◇一方マンマシンシステムにおける人（運用組織）の任務はどうであろうか。それはヒューマンテクノシステムから提供される技術システムを、同じく指令された運用計画に従って、事故トラブルなく運転することである。だから運用組織の任務は安全性追求と矛盾しない。事故トラブルを起こさず、安全を維持することが成果につながる。ただし運用組織は実際に技術システムを運転するのであるから、自然環境の変化、技術システム自身の物理的特性など技術の自然性に起因する安全問題に取り組みねばならず、事故トラブル事象のほとんどはマンマシンシステムに関わって生じるから、実際の事故トラブル事象に直面するのは運用組織である。従来の事故調査の多くがマンマシンシステムとヒューマンエラーに注目されてきたのはこの故かもしれない。
- ◇上に概観した福知山線鉄道事故や福島原発事故では、事故に関わる多くの要因が技術システムの社会性に関わるものであった。つまりどのような技術システムを整備しそれをどのような使い方をするか、これらはヒューマンテクノシステムのあり方に関わる問題で意思決定するのは経営組織である。上に見たように、経営組織は安全問題の取り組みに関して、複雑な判断が必要な立場にある。だからヒューマンテクノシステムに注目し、意思決定過程で安全問題がどのように位置づけられるべきなのか、とくに第三者検査の仕組みをどのようにすれば反映させられるのか、調査研究される必要がある。

43 第三者検査原則を基本に据えた安全性維持向上の仕組み

- ◇上述のこと、そして福知山線鉄道事故、福島原発事故災害の要因を考え合わせると、第三者検査原則を基本に据えた安全検査の仕組みの構築が必要。
- ◇第三者検査の仕組みは、技術先進国では常識で、日本は世界で最も遅れている。2つの重大事故が提起している、まともな日本に向かうための重要課題の1つと思われる。

[ノート]チェックゼロの意思決定組織は修正が効かないので破綻するまで止まらない。

- ◇行政組織、企業組織から独立した第三者検査機関の設立と育成
 - *安全の維持向上がこの機関の目的であり、そのことによって評価される
 - *この機関の業務は故障事故情報収集と開示、許認可権を持たず安全性の評価認証を行う
 - *この機関は独立した人事権、財政権、制限のない調査権を持つ
 - *当事者に対抗できる安全技術エキスパートスタッフの保持、育成
 - *これら要件を満たすには、行政よりも民間組織が適していると思われる

[ノート]保険の仕組みはこのような要件を満たす民間組織のように思われる。第三者検査の仕組みは、日本でも日本海事協会を中心とする船舶安全の仕組み、外国ではドイツ技術検査協会(TUV)、米国の原子力安全検査委員会、運輸安全委員会などがある。

《第三者検査の仕組みの実例》 図7

- * 船級協会（1国1団体，検査料で運営）
- * 民間組織で船級規則を判断基準にして船舶の建造時から使用中全期間定期的に検査
- * 船級取得は自由だがユーザの船舶の安全性評価に反映され保険料などにも影響する（信頼できる船級取得に向かう仕掛け）
- * 保険会社は保険の支払いがないほうがよいのだからさんな評価はしない
- * 船級協会は互いに競争状態にあり，検査能力の向上と信頼性が収入に直結する
- * これは長い実績によって培われた慣例だと思うが，船級取得によって，客船以外は，官庁検査が省略される

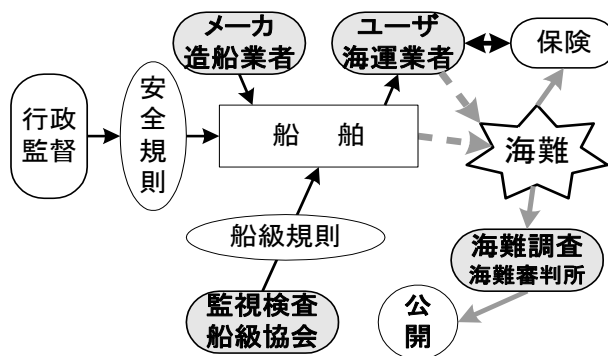


図7 「船級」認証による船舶の安全維持の仕組み

《第三者検査体制導入の効果の例》

蒸気機関は産業革命、その後の生産力成長を支えた動力機関であるが、そのための蒸気をつくるボイラの危険な破裂事故は、機械技術利用にかかる安全問題で世界的に大きな社会問題となった。

当初から、メーカーは、自分らこそボイラ技術の性質を最もよく把握している、そして事故を起こせばメーカーは責任と損害を被るのだから安全に最も注意を払う、として、自主規制こそ最も効果的な安全対策であると主張し、法律による社会規制や第三者規制に反対した。

しかし破裂事故は増える一方で長い論争の末、1900年ごろ第三者規制が導入された。結果は図8の通りで、それを境に事故は激減していった。

ボイラは産業機械であるが、安全審査の監督官庁は、日本でも特殊で、経産省ではなく、厚生労働省労働基準局である。

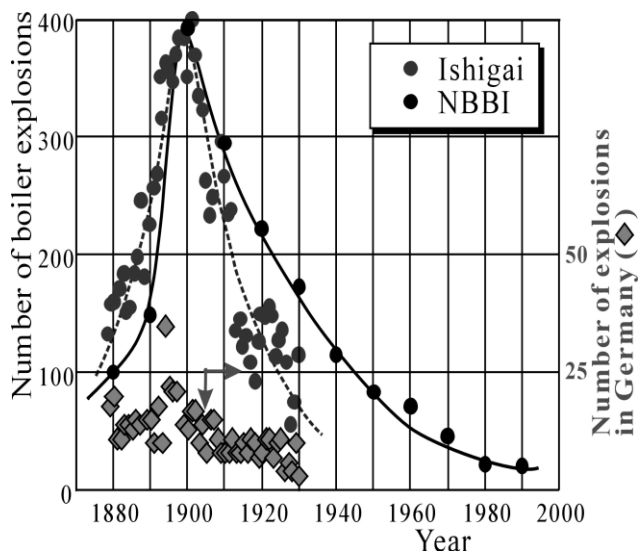


図8 ボイラ破裂事故の変遷（小澤守関西大学社会安全学部教授による）