
ヒューマンエラーによる溶接構造物の破壊事故
防止のためのエキスパートシステムの作成

課題番号：01460225

平成2年度科学研究費補助金（一般研究 B） 研究成果報告書

平成3年4月

研究代表者 小倉 信和

（横浜国立大学工学部物質工学科 教授）

539

06

2619918

横浜国立大学

大学研究

は し が き

本研究は下記の研究組織、研究経費のもとで実施された。その研究の性格上、他の多くの、より高いレベルで同様の研究を進めている研究者（たとえば京都大学 井上紘一教授、東京大学 柴田 碧教授、横浜国立大学 上原陽一教授 ほか）の指導と影響を強く受けて研究は進められた。またパーソナル・コンピュータ・プログラムは修士課程修了学生および学部卒業論文学生の協力を受けて、作成されたものである。

最近、各種の人為ミスによる重大な事故例が報道されており、本研究の目的とするところは、ますますその重要性を高めている。今後も継続して事故防止のための研究を進めたい。

研究組織

- 研究代表者： 小倉信和 （横浜国立大学工学部物質工学科 教授）
研究分担者： 安藤 柱 （横浜国立大学工学部物質工学科助教授）
研究分担者： 酒井 謙 （横浜国立大学工学部物質工学科 助手）

研究経費

平成元年度	3,800千円
平成2年度	1,500千円
計	5,300千円

研究発表

（出版物）

共著 “ヒューマンエラー —その発生原因と防止対策—”
アイ エヌ ジー 出版部、1989年8月

共著 “ヒューマンエラーに関する研究調査”
（財）セコム科学技術振興財団、1990年4月

2619918

横浜国立大学

ヒューマンエラーによる溶接構造物の破壊事故 防止のためのエキスパートシステムの作成

横浜国立大学工学部 小倉 信和

1. まえがき

最近において「事故」という問題が一層重要な、あるいは複雑な意味を持つようになってきている。特に代表的と言える分野は原子力に関係した分野と言えよう。人類が原子力という虎の子を手中に収めることが出来るか否かは、如何にして事故を避けることが出来るかにかかっていると云ってよい。もし今一度、スリーマイル島事故あるいはチェリノブイリ事故に匹敵するような事故を引起こした場合、世界的な規模で原子力利用中止の意見が大勢を制することにならう。

半面「事故」という問題に対する一般社会の反応は複雑、難解なものとなってきている。ある面では無関心化が進んでいるともいえる。チェリノブイリ事故のような大事故の発生によって感覚が麻痺して、航空機の墜落事故の程度では驚かなくなっているという面もある。半面環境に影響を与えるような事故に対しては鋭敏に反応し、当事者の責任は強く追及される。個人個人にたいして少しでも影響を与えるか否かが尺度になっているようにも思われる。人間の集合である社会の「わがまま」「勝手」が現れている一面と言うこともできよう。事故を起こす当事者の予備軍である我々技術者にとってその事故がいずれになるかを予見する事は出来ない。関わり無く事故の防止を考えることが必要である。

2. 事故と責任

事故を防止すること、その原因を究明することに対しては従来から多大の努力が払われてきた。しかしそれに如何に人間が関係したかという立場、ヒューマンエラー、ヒューマンファクターという見地から検討しようとする事は、極めて重要なことと意識されてはいたが、とくに我が国の場合あまり行われなかった。これは我が国における責任の問いかた、その代表として刑事責任の問いかたに起因していたと云って良いであろう。また事故を起こすと左遷されると言うわが国の企業内責任の問い方にも問題がある。我が国とアジア南方の数か国、およびなぜかギリシャが類似であって、それら以外の世界中の殆どの国に於いては、技術上の事故に際して、その当事者である技術者は免責されるのが一般的とのことである。これは正しく事故原因を究明し、類似事故の再発防止を第一と考えることによる。そしてそのためには当事者の偽りのない証言が最も必要と考えるからである。群馬県におけるジャンボジェット機の墜落事故の原因調査をアメリカ国内で実施するためには、アメリカ国内法の慣例に従わねばならず、我が国の刑法に対

して強い影響を与えることになろう。我が国における責任の問い方も一長一短があると言えようが、上記の技術上の責任の問い方においては、欧米のそれが合理的と思われ、筆者も我が国のそれが欧米型になることを期待している一人である。

3. 事故防止の方法

残念ながら限りなく失敗を、事故を繰り返す人間に対して、なんとかその状態から脱却する良い方法はないものかと言うことが模索され続けてきた。規格、基準の制定はその一つの現れである。アメリカのASMEにおけるボイラと圧力容器の製作基準がミシシッピ川の遊覧船におけるボイラの爆発事故を契機として作られる様になったとは多くの文献で語られている。

通常規格基準においては守られるべき事項を

設計

材料

工作

検査

の4項目に別けて整理され記述されている。最近ではASME規格Sec. XI（原子力発電所の供用期間中検査の基準）を代表とするように

使用中検査の基準

が追補されるようになり、これと前後して

欠陥の許容基準

が種種の構造物を対象として検討され定められるようになった。

とくに設計に始まり検査までの製作規準は過去の経験の集積とすることができる。そのためその制定には長年を要しており、また必要に応じて改定が続けられてきてる。公的な規格規準、またとくに自主的に定められた規格規準は事故防止の目的から見て極めて重要なものと言える。

4. 事故例の教訓と信頼性工学

古い事故事例であれ、新しい事故事例であれそこには極めて多くの教訓が含まれている。ヒューマンファクターに関する教訓も同様である。新しい事故例の場合、我々の知識のまだ不十分な点をつくづく知らされる場合が多い。新旧を問わず、事故例に含まれる危険要素を洗いだし、他山の石とする必要がある。

危険要素を洗い出し、安全性を高めようとする方法として、信頼性工学の方法があるが原子力および航空機の分野において、最近の実績は思わしいものとは言えない。500年に一回と計算されたジャンボジェット機ほかの大形旅客機の墜落事故は不幸にして相次いで発生した。隕石の落下による事故の確率と同様と計算されていた原子力発電所の重大事故はアメリカおよびソビエットにおいて既に発生を見ている。この方法の弱点

は無経験の人ほど、知識の不十分な人ほど安全であるという結果を算出すことにある。しかし信頼性工学のもつ重要性は疑うべくもなく、今後の改善が強く望まれる。事故例の教訓の活用と信頼性工学の進歩とは今後の安全性確保のための車の両輪となるという見方も出来るであろう。

5. コンピューターの利用

ここ10年の間におけるパソコン、ミニコン、ワープロといった電子製品の進歩はまことに目覚ましいものがある。10万円強の価格のワープロで人工知能言語といわれているアログが（やや不完全ながら）扱える様になり、またエキスパートシステムのソフトも発売されている。一方パソコンにおいても様々なソフトを1万円以下で提供しようとする試みがなされている。本稿の目的とするヒューマンファクターの立場からの事故防止対策もエキスパートシステム或いは類似のアログラムとして整理することを進めている。パソコンの進歩が早くこれを可能とするか、コンピューター機能を備えたワープロを使用することになるか興味深い。これらが事故防止のための強力な協力者となることは間違いないと言える。またこれらのアログラムが多くの人によって利用されるためには低廉な価格と、簡単に手に入るという条件が必要となる。

アログを用いた原因の探索試案と最も単純な事故例等のデータベースに付いて後の章で触れることとする。

6 エラーと破壊事故の傾向

ヒューマンエラー、ヒューマンファクターの場合、結果的にみて原因は明確であったがそれに気付かなかったというエラー（確信型のエラー）、と偶発的なエラーとがあつて、これらを定量的に扱うことは難しい問題と言える。まず定性的な対策を進め、逐次定量化を計って行くべきであろう。

破壊事故の原因をたどってみると製作関係者の不注意や知識の不足にたどりつく場合が少なくない。不適切な材料の選択、製作時の欠陥、検査の粗雑などが何年か後の破壊事故の原因となっている例は多い。とくに最近発生している巨大大事故に関して、その事故原因のうちに『人為ミス』が多く数えられるようになった。例えばスリーマイル島原子力発電所の炉心溶融事故、日本航空ジャンボジェット機の墜落事故、チェルノブイリ原子力発電所の反応度事故などがこれに当たる。

そしてこれらの事故の特徴は、その技術が新しく技術的に未知の部分が数多く存在していたという、不可効力的な原因によるのではない。確信型、偶発的のどちらであるに係わらず、愚かとも思われるような安易な人為ミスやヒューマンエラーが巨大なシステムにおける重大な事故の原因となっている。そのため人為ミスやヒューマンエラーの立場からの事故原因の究明、防止対策の樹立の必要が高まったと言える。

この目的から、過去に発生した多くの事故例を人為ミスという観点から検討し、そし

て設計、製作にかかわる技術者にたいしチェックリストを提供し、また適切な注意を与えようとしたことが本研究の出発点である。将来さらに進んだ形の援助システムができればと考えている。

この裏には巨大システムに関係する技術者、作業者が危険をとめない労多い職業であるのににもかかわらず、収入の少ない職業とみなされ、その質が低下してゆく事が心配されているという事情がある。欧米ではすでに通った道であり、近く我が国も現在の欧米に近い状況になると考えねばなるまい。これを補う為の援助システムを開発することは、極めて重要な課題と考えられる。

7. 事故原因の分類と事故の概要

破壊事故例を人為ミスという観点から防止しようとする場合、まず過去における事故例がどのような原因によって発生したかを知る必要がある。筆者は圧力技術第21巻、4、5、6号に「破壊事故例とその対策」その1、その2、その3を解説としてのせており、そこで紹介した事故例を表1⁽¹⁾にまとめた。そして同表にはそれら事故の原因が、設計、材料、工作、検査のいずれの分野にあったかを丸印をもって示している。また最近いろいろの面から問題とされている経年劣化と関係があるかどうか、さらに人為ミスとの関係についても丸印で示した。また特に関係が深いと考えられる場合は二重印を用いることとした。

前述の圧力技術において表にまとめてあるものは表1の1-1から3-10までである。4-1以降の各事故例について、ここで簡単に説明を加えておくことにする。

4-1は前述の文献その3において配管の破裂事故として追加して解説したものであり、ここでの説明は省略する。

4-2 ゲルマン容器の爆発事は神奈川県で発生した事故である。普通の酸素ボンベ（内容積43.8リットル）に10kgのゲルマンが充填されていたが、そのゲルマンが突然急激な分解反応をおこしボンベは爆発した。4個に別れた破片は200メートル近くも飛散するという激しいものであったが、重傷者2名の命はとりとめた。幸い、完全に分解したため毒性物質として流出することはなかった。もし流出して中毒患者をだした場合、その治療方法については、まだ不明の点が多く、処置に窮したことも考えられた。

ボンベの内面が汚れていたことが疑われ、また真ちゅうの口金は脱亜鉛腐蝕を起こしており、微細な潜在割れも存在していた。管理状態のわるいボンベに充填されていたことが事故の発生を助けた事が疑われる。この事故はよくその性質が把握されていないゲルマンという危険なガスを不用意に扱ったハイテク産業に関係した新しい型の事故として注目された。類似事故発生の防止が急がれた事故例である。

4-3 原子炉压力容器の脆性破壊事故は古くフランスで発生した事故であるが、前述の解説その1にシノン（フランス）における事故として紹介している。フランス人独

表 1 破壊事故例におけるその原因

番号	事故例	年	設計	材料	工作	検査	劣化	人為ミス	備考
1-1	バーナビー・カークの指摘	1879		○					
1-2	給水塔の脆性破壊	1886		○					
1-3	糖蜜タンクの脆性破壊	1919						◎	
1-4	ズー橋の脆性亀裂事故	1936		○					
1-5	ハッセルト橋の脆性破壊	1938		○					
1-6	米国戦時標準船の脆性破壊	1940	(○)	○	(○)				
1-7	水素球形タンクの脆性破壊	1943		(○)					USA スケネクタディー
1-8	LNG タンクの脆性破壊	1944		○				○	USA クリーブランド
1-9	原油タンクの脆性破壊	1952		○	○	○		◎	UK ホーリー
1-10	油送船コンコルド脆性破壊	1954		○				○	
2-1	厚肉反応容器の脆性破壊	1965				◎		◎	
2-2	ボイラドラムの脆性破壊	1965	○			○		○	
2-3	原油熱交換器の脆性破壊	1967	○	○				(○)	
2-4	層成容器の脆性破壊	1970			○			○	
2-5	球形タンクの亀裂事故	1962					○	◎	流化水素
2-6	球形タンクの脆性破壊	1967		○				◎	塩ビ モノマー
2-7	球形タンクの脆性破壊	1968				◎		◎	徳山 プロピレン
2-8	球形タンクの脆性破壊	1968				◎	○	◎	千葉 プロパン
2-9	都市ガスタンクの脆性破壊	1971							マドリッド
2-10	LPGタンクの亀裂事故	1962				◎	○	◎	低温平底 神奈川
3-1	クレンドラムの脆性破壊	1970		○				◎	
3-2	酸素ポンベの脆性破壊	1972				○	○	◎	
3-3	水素ポンベの脆性破壊	1974				○		○	
3-4	プロパンポンベの脆性破壊	1974				○	○	◎	北海道 青森 熊本
3-5	重油タンクの底部破壊	1974	○				(○)	○	水島
3-6	LPG タンクの脆性破壊	1977		○	○			○	カタール国
3-7	重油タンクの底部破壊	1978					(○)		宮城県沖地震
3-8	タンクローリーの爆発事故	1978					○		スペイン
3-9	逆火防止槽の脆性破壊	1979		○				◎	
3-10	脱硫反応塔の脆性破壊	1980		○	◎	○	○	◎	
4-1	脱硫装置配管の爆発事故	1982	◎	○		○	○	◎	
4-2	ゲルマン容器の爆発事故	1984					○	◎	
4-3	原子炉圧力容器の脆性破壊	1958		○	○			○	フランス シノン
4-4	船用ボイラの爆発事故	1972				○	○	◎	鹿島港
4-5	BWR 配管の応力腐蝕事故	1974		○	○		○	◎	
4-6	スリーマイル島原発事故	1979	○					○	
4-7	日航ジャンボ機墜落事故	1985	○			◎	◎	◎	
4-8	チェリノブイリ原発事故	1986						◎	
	件 数		8	17	15	11	12	28	

特の人的な要素の多い事故であったと言える。

4-4 船用ボイラの爆発事故は茨城県鹿島港において発生した事故である。暖房、厨房用の補助ボイラが突然爆発し、船は瞬時に沈没し、多くの死者を出した。ボイラは平らなドラムを立てた形のもので高さ（直径）3.8 m、奥行き2.2 mの煙管タイプの丸ボイラであった。表面の管板と裏面の管板との間の多くの管ステイにおいて管ステイと管板とを固定する為のねじ（ねじ山）の加工が不十分であった。

また安全弁はさび（錆）がつまって完全に固着していたほか、ボイラ水として海水が使用されたこともあるなど、随分と乱暴に扱われてきたことが疑われるボイラであった。

この安全弁に関係して二つの問題点が指摘されている。一つは安全弁としては高級な高揚程型の安全弁が使用されていたことである。この安全弁は上等ではあるが錆などが多い場合に固着してしまう危険が大きい。苛酷な使用環境を考えると、この安全弁の選択は賢明ではなかった。

また安全弁は2ヶ取り付けられており、1ヶが故障したときは他の1ヶがこれを補うことが考えに入れられていたと思われる。しかし2ヶともまったく同様に錆が詰まってしまっており、2ヶにした効果は全く発揮されなかった。複数化して安全性を向上させようとする手段に対する一つの注意事項が示されたと言える。

この管ステイのねじ切りが不十分であった事実はボイラの完成検査において発見することは不可能である。製作中の検査を適切な時期を選んで実施することの必要性が示されている。この点ではジャンボジェット機の圧力隔壁の修理作業と同様な問題を持った事例の一つと言える。

4-5 BWR配管の応力腐蝕割れ事故はアメリカのドレスデン2原子炉から始まり、世界中の沸騰水原子炉に同様な割れが発見されることとなった事故例である。オーステナイト系ステンレス鋼配管の溶接熱影響部が原子炉水中の溶存酸素によって応力腐蝕割れを起こすことに気が付かなかったことによる事故である。その修理と対策研究のために莫大な費用と日時を要する事となった。この事故はBWR型原子炉が経験した最大のトラブルと言ってよいと思われる。

4-6 スリーマイル島原発事故、4-7日航ジャンボ機墜落事故、4-8 チェリノブイリ原発事故については、多くの解説記事がある。ここで改めて記述することは省略し、後の検討の項で必要に応じて触れることにする。

1-1から1-10までには材料に原因をもった事故例が多い。これは昭和50年代までは脆性破壊事故の多発した時代でありその破壊事故の原因を材料としたことによる。

1890年頃、鋼材が広く使用されるようになるとともに、脆性破壊事故もすこしずつ発生するようになった。1930年代から1940年代にかけて、溶接が鋼構造物の製作に採用されるようになって、各種の構造物に時を同じくして数多く脆性破壊事故が経験された。その対策に膨大な努力と研究とがなされたが、一応の成果が得られるまでに約20年を要したと言って良いであらう。この時代は鋼材が構造用材料の王座に就い

た時代であり、溶接という接合法と結ばれる事によって重厚長大型の新技術が完成されることになった。新しい技術が発展して行く段階においては、未経験であることが原因として、設計、材料、工作、検査さらにその使用、運転に関係して事故が多く経験されるものである。この段階において、人間の能力の不十分さを痛感することが多い。しかしこのような進歩発展に関係した場合には人為ミスまたヒューマンエラーと呼ぶことは適切ではない。この点での考え方は次章で述べることにする。

8 ヒューマンエラーについての考察

表1に収録した各事故例の原因を表2にまとめた。表2を見ると検討したほとんどの事故例が人為ミスとなんだかの関係を持っている。ここでは初期の一群の脆性破壊事故を人為ミスと関係を持たぬものとした。これは鋼材が広く一般に使用されるようになり、また溶接という工作法が広く普及して行く過程での事故であった。当時の科学技術のレベルと方法(Try and error)を考えると、この種の新しい技術の発展には相応した事故の発生が避けられなかったといえる。

ほぼ同じ時代に発達した技術として、自動車、飛行船、航空機などがあげられる。これらの技術の発展の途上においても、数多くの事故が発生しており、飛行船の場合は事故多発のゆえにその新技術が打ち切られることになった。飛行船の場合を含めて、ここで取った考え方では、これらの新技術の発展途上においてやむええず発生した事故は人為ミスまたはエラーとしていない。

ここで例としてあげた技術はいずれも戦争と関連して発達した技術と言う点での特徴がある。これら新技術の総合力において優れたほうが勝者であった。戦争と社会一般の発展を同一に考えることには問題もあらうが、共通した点を持つことも確かであらう。勇気ある選択が求められるときがあるものである。

しかしながら“許容される危険性”も時とともに変化してきている。現在では事故を最低限に押さえて、新しい技術を開発して行く方法が知られるようになった。実験または実証試験の注意深い実施である。また巨大技術においては、使用状態において絶対に事故を起こしてはならないと言う制約が課せられることもある。我々技術者、研究者は今後その様な要望に応えることが要求されている。

“1-8 LNGタンクの脆性破壊事故”より新しい事故で人為ミスと関係がないとした事故の例は限られている。“2-9 都市ガスタンクの脆性破壊”は都市ガス用の球形タンクに対して水圧試験を実施した際の事故である。タンク基礎の不等沈下がその原因であったと言われている。ガスを貯蔵する球形タンクに水圧試験を実施しようとすると、その水の重量に耐えるための基礎工事を施工しなければならない。使用開始後は軽いガスが入るのであるからその様な丈夫な基礎の必要はない。

設計者が不要と感じた場合、慎重な設計がなされないことは良くあることせある。スペインの法規にもとづいて水圧試験が要求されたものと思うが、法規の遅れが招いた事

表 2 破壊事故例における原因と人為ミス

番号	事故例	年	事故の原因
1-1	バーナビ・カークの指摘	1879	(吊り落とし)(棒鋼の折損) (技術的に未知)
1-2	給水塔の脆性破壊	1886	(鋼材の低靱性) (技術的に尚早)
1-3	藍蜜タンクの脆性破壊	1919	『法規, 規則の無視』『過大応力』
1-4	ゾー橋の脆性亀裂事故	1936	(鋼材の低靱性) (技術的に尚早)
1-5	ハッセルト橋の脆性破壊	1938	(鋼材の低靱性) (技術的に尚早)
1-6	米国防時標準船の脆性破壊	1940	(設計不適)(鋼材の低靱性)(施工不適) (技術的に未知)
1-7	水素球形タンクの脆性破壊	1943	(鋼材の低靱性) (技術的に尚早)
1-8	LNGタンクの脆性破壊	1944	(3/2 N ₂ 鋼の使用)「規定値より靱性低」 (技術的に尚早)
1-9	原油タンクの脆性破壊	1952	『不正な補修作業』『責任の所在が不明確』
1-10	油送船コンコルド脆性破壊	1954	『統計的調査結果の拡大使用』
2-1	厚肉反応容器の脆性破壊	1965	『不十分な設備管理(加熱炉)』
2-2	ボイラドラムの脆性破壊	1965	「設計不良」「不適切な加熱速度」「水素による遅れ破壊」
2-3	原油熱交換器の脆性破壊	1967	「応力集中」「微細な非金属介在物」「低い耐圧試験温度」
2-4	層成容器の脆性破壊	1970	「水素による遅れ破壊」
2-5	球形タンクの亀裂事故	1962	「硫化水素による応力腐蝕割れ」
2-6	球形タンクの脆性破壊	1967	『経済的要求の行過ぎ』『不適切な材料の使用』『設計上のミス』
2-7	球形タンクの脆性破壊	1968	『入熟管理の不適切』『検査に合格する為』『水素による遅れ破壊』
2-8	球形タンクの脆性破壊	1968	『粗雑な施工』『下請けに任せ過ぎ』
2-9	都市ガスタンクの脆性破壊	1971	(都市ガスタンクの水圧試験)(基礎の不同沈下)
2-10	LPGタンクの亀裂事故	1962	『不正な歪み取り作業』『検査の見落とし』『悪い作業環境』
3-1	クレーンドラムの脆性破壊	1970	『無規格材の使用』『購入品の検査不十分』
3-2	酸素ポンベの脆性破壊	1972	『廃棄表示の不十分』
3-3	水素ポンベの脆性破壊	1974	「不適切な生産計画』『乱暴な施工』
3-4	プロパンポンベの脆性破壊	1974	『粗雑な加工』『不完全な応力除去焼きなまし処理』『不注意な検査』
3-5	重油タンクの底部破壊	1974	(局所的な不同沈下)
3-6	LPGタンクの脆性破壊	1977	(一般的な安全性の欠如)(材料規格の不適切)「海水による水張り試験」
3-7	重油タンクの底部破壊	1978	(アニューラプレート)の腐蝕減厚 (宮城県沖地震)
3-8	タンクローリーの爆発事故	1978	(未詳)
3-9	逆火防止槽の脆性破壊	1979	(不可抗力)
3-10	脱硫反応塔の脆性破壊	1980	『不用意な補修溶接』『鋼材の低靱性』『検査の不十分』
4-1	脱硫装置配管の爆発事故	1982	『配管設計の不良』(行き止まり配管の温度上昇)(水素浸蝕)
4-2	ゲルマン容器の爆発事故	1984	『専門家の不注意』『研究不足』
4-3	原子炉圧力容器の脆性破壊	1958	『慎重さに欠けた設計』『材料の低靱性』『不用意な施工』
4-4	船用ボイラの爆発事故	1972	『不適切な使用条件』『不十分なねじ加工』『安全弁の選択ミス』『検査の見落とし』
4-5	BWR配管の応力腐蝕事故	1974	(応力腐蝕割れ)(材料の選択ミス)「統計的調査結果への依存のし過ぎ」
4-6	スリーマイル島原発事故	1979	『設計上の欠陥』『運転員のミス』(逃し弁の不調)
4-7	日航ジャンボ機墜落事故	1985	『異常な施工』『検査の見落とし』
4-8	チェリノブイリ原発事故	1986	『運転員の判断ミス』『関係者の不注意』

(注)『』：人為ミス 「」：程度の人為ミス ()：人為ミスでない事故原因

故ということができ、人為ミスとはしなかった。

“3-7 重油タンクの底部破壊”は宮城県沖地震に際しての事故例である。アニュラプレート下面にかなりの腐蝕がみられ、これが損傷の程度を大きくしたことは考えられる。しかしこの事故を人為ミスとすることには問題がある。3万トもの大きなタンクが地震動によってロッキングを起こし、なを底部に亀裂が発生するという事故形態はごく例外的な研究者を除いて誰もが予測していなかった事実である。JISそのほかにおける耐震設計基準もこの地震を契機として急遽改定されることになった。人為ミスではなく不可抗力の事故と言える。

“3-8 タンクローリーの爆発事故”はスペインで発生した事故例であって、積極的に種々の文献を集め、検討を加えた北川先生の報告（安全工学 通巻 89号 1979）がある。この報告によれば過充填あるいは溶接部における潜在亀裂の見落としが疑われている。共に人為ミスの疑いが大きいが、正式報告における詳細が明らかでないため、ここでは人為ミスの欄を空欄とした。この事故は多数の死者を出しており、なんだかの形での調査報告書は作成されるものと思われる。しかしスペインはわが国と同じく裁判に長期間を要することで知られており、その入手は後のことにならう。

“3-9 逆火防止槽の脆性破壊”の場合、この逆火防止槽は直径260mm、長さ約4mの鍛鋼品の中心に直径90mmの穴を機械加工して作られたものであった。加工された穴の表面近くに非金属介在物の集まりがあり、これを起点として疲労亀裂が拡大していた。製作完了時の検査においてこの非金属介在物の集まりを発見することは不可能に近く、また溶接もされていないので、使用開始後に非破壊試験を実施することもなかった。疲労亀裂が次第に成長し、深さ55mm、長さ145mmに達していた。

この逆火防止槽のユーザーは今後もし同様のものを製作するのであれば、LBBを確保できる条件を備えたものを製作したいとのことであった。韌性の優れた材料を使用すれば、亀裂が貫通して漏洩が発生しても脆性破壊を起こすことのないLBB機能を備えた逆火防止槽を製作することができる。この種の潜在亀裂を捜すために非破壊試験を実施することはいたずらに費用がかさみ、賢明とは思われず、このユーザーの選択は妥当と言える。この事故も人為ミスではなく、不可抗力の事故である。

表2において人為ミスとした事故例のうち、法規や基準の上で、また技術上の常識からやってはならないことを行ったために事故を招いた例が幾つか見られる。“1-3 糖蜜タンクの脆性破壊”における法規の無視、“1-9 原油タンクの脆性破壊”におけるトレパニング検査跡の不正な補修作業、“2-8 球形タンクの脆性破壊”における乱雑な施工、“2-10 LPGタンクの亀裂事故”における不正な歪み取り作業、“3-4 プロパンポンベの脆性破壊”における一連の粗雑な制作方法、“4-7 日航ジャンボ機墜落事故”における圧力隔壁の乱雑かつ不注意な修理作業などである。これらのような性格の事故の場合、その防止対策はむしろ比較的単純と言える。“1-3”の場合を除き、施工管理を正しく行うこと、検査を適切、慎重に実施することによって

防止することができる。

これらの事故のあるものは現在では起こり得ない事故と思われるが、事故防止の観点からは、決して軽視すべきではない。

9 プロログによる原因と対策の検索

前述したように、事故防止とくにヒューマンエラーの防止に当たっては、長足の進歩とげつつあるパソコンの利用が大いに期待されている。特にプロログという言語は人工知能やエキスパートシステムに使用され、事故や故障の原因の推定、データの探索に優れ性質を持っており、現在さらに改良が進められている。

ここではまず発生した事象（単数または複数）を与えることにより、その原因（単数または複数）がそれぞれ重み付で示され、それらの対策も与えられるというプログラムの製作を試みた。本方法は杉原敏夫著「RUN/Prologとその応用」⁽²⁾を参考として作成したものである。

その方法としてはまず右側に示したような表を作成する。この表における a の位置には事故例の名称または発生した事象が書き込まれる。b の位置にはその原因となった事象を書き込む。c の位置には b に対応した対策および注意事項などを記入する。d の位置には b 欄の原因事象の重用度を縦方向の合計が 1 になるように割り振った数字を記入する。この表にもとづいて上記の参考文献に示された方法に従ったプログラムを作成する。これにより a（複数で良い）をあたえれば確実さについての重み付き b 及び c が表示される。プロログによる方法は a の行の増減、また b の欄の増減に対して容易に対処できるという長所を持っている。

	a	a	a	
b	d	d		c
b		d	d	c
b	d		d	c

この方法を試みるため幾つかの表を作成してみたが、表 3 および表 4 にその例を示した。c の対策を示した位置（項）には原因を導いた理由の説明、その根拠となる文献、さらに関連した事故事例をたどることの出来るようなガイドを設けたいと考えている。

表 3 の場合、d に相当する数字が斜めの帯状になっており、プロログを使用するおもしろさに欠ける。表 4 の場合は数字の位置はばらついておりプロログの例題として適しており、実際にも有効に使用される事が期待される。表 4 の高温脆化・割れの問題は筆者の専門度は高くない。会社関係あるいは大学関係のしかるべき研究者（エキスパート）にお願いして数値を入れてもらうなり、表の不適當な点を訂正してもらわなければならない。

表 3 原因と対策、初期の脆性破壊

原因	事故番号										対 策 および 注意事項
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	
鋼材の靱性不足	棒力鋼の折損の指摘	給水塔の脆性破壊	破壊タンクの脆性	事故橋の脆性亀裂	性ハ破セルト橋の脆	脆米国破戦時標準船の	脆水球破球形タンクの	性破N破タンクの脆	破原油タンクの脆性	号油の送脆船破コ壊コンド	鋼材の靱性に対する知識を高める。 *3.5%Ni鋼をやめて9%Ni鋼に変更する。
棒鋼の吊り落とし	0.1										工場内のクレーン輸送を慎重にする。
強度計算の省略(過大応力の作用)			0.5								ユーザーの安全に対する認識を高める。
法律、基準の無視			0.5								法律、基準を遵守する。 法律、基準の権威を高める。
鋼材の無理な使用(当時の鋼材を考慮して)				0.4	0.2			0.2		0.3	新種のまた従来より厚さの厚い鋼材を使用するときは事前に慎重な材質確認のための試験及び溶接性確認のための試験研究を実施する。
無理な構造設計				0.3	0.4						当時の技術レベルでは、剛性の高いフェーレンディール型の橋梁の溶接は無理。
応力集中の高い構造設計。					0.2	0.3	0.4				リベット時代の設計方法を踏襲した。
溶接工作技術の未熟						0.3	0.2				溶接に対する事前の研究研究の不足。
防液堤など安全設備の不十分											防液堤、漏出時の液回収装置、漏洩検出器などの安全装備を設置する。
トレバニング検査跡の不正な補修溶接									0.5		補修作業の管理責任を明確にする。 作業管理を厳格にする。
統計的調査結果の誤用										0.4	戦時標準線の統計的調査の結果を戦後の大形船に適用した。船種の高級化、厚さの増大にもなって、要求衝撃値を大きくとり、脆性亀裂の伝播阻止特性を持たせる。

表 4 P W H T脆化、P W H T割れ、焼戻し脆化、クリープ脆化(割れ)

原因 \ 現象	割れ発生 P W H T中に H A Zに	部に粒界中に P W H T割れに 応力集中	Cr P W H o H 鋼中に割れ H n 発生 H o 鋼	P W H T中に 脆化	. P N i W H C r T 中 H o H 鋼が脆 H o 化鋼	生高温使用中 に割れが 発生	に高温25使 用(4 1 5 0 H o ~ 5 鋼 8 0 割れ)中	に高温脆化使 用(3 7 0 ~ 5 8 0 ℃)中	. 高 N i 温 使 C r 用 中 に 脆 C r 化 H o 鋼	対策
P W H T温度域での低 延性	0.0	0.0	0.0							歪集中の少ない継手形状を 選ぶ 溶接金属表面を平滑にする P W H Tの方法を検討する
クリープ変形が阻止さ れる	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0			
炭化物の粒内析出	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					化学成分の調整(C, V, Tiの量を減らす) 予熱温度を高くし過ぎない 溶接入熱量を低くする P W H Tの方法を検討する
化学成分がP W H T処 理に対し不適	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
炭化物、窒化物の析出 、析出物の変化				0.0	0.0					P W H T方法の検討(温度 、時間) 母材、溶接材料の化学成分 の調整(V, N等) N rまたはQ Tにより回復
鋼中不純物(P, S n, S b, A sなど)の結晶粒 界への拡散、析出	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	母材、溶接材料中の不純物 の減少及びH n, S iの減少
								0.0	0.0	6 0 0℃以上の短時間加熱 により回復
P W H T温度の不適				0.0						P W H T時の施工管理を慎 重にする 伊の管理を十分に
Q T材を焼戻し温度以 上でP W H T				0.0						P W H T時の施工管理を慎 重にする

10. 規格基準の対話型エキスパートシステム

各種の製品、構造物において破壊事故を防止するためには、その製品、構造物に対して定められた法規、規格、基準類を正しく遵守することが挙げられる。本来、法規、規格、基準類は事故の発生を防止する事を目的として作られてきたと言うことも出来る。これらが正しく理解され、守られれば事故はまず発生しないと言える。

しかしながら、これらの共通した欠点は新しい技術の発展に追随することが難しいと言う現実である。この問題は先進諸国のうち、とくにわが国において顕著であると言うことができる。この点はわが国の法律や規格、基準に対する歴史的な流れがその背景をなしていると考えられ、この悪弊から抜け出すには、まだ時間を要する問題と思われる。

構造物に割れ状の欠陥が見付かった場合、破壊力学を用いてその欠陥の危険性を評価し、もし安全と判断されればそのまま使用して良いという判断基準は、ここ15年来、諸外国で相次いで採用されてきた。わが国の場合「割れ状の欠陥破損材してはならない」と言う古い条文が現存しており、上記のような判断基準を表面切って採用する事が出来ない。非破壊検査の技術上の進歩は著しく、精密な検査を行えばどの様に慎重に作られた構造物においても割れ状の欠陥が発見されてしまう。これに対応して破壊力学を使用して安全性のチェックを行うことは必然の成り行きであったと言うことができる。

しかし破壊力学は比較的新しく発展した工学の分野であり、一般に難解であると言われている。ここでは破壊力学を採用している諸外国の規格のうち幾つかを選んで、破壊力学を使用し安全性を評価する部分に対話型のエキスパートシステムとして作成する事を試みた。しかしながらこの研究を実施している間においてエキスパートシステム作成上の環境において一つの変化が見られている。一時期大いに期待されたプロログ言語が次第に使用されなくなり、ターボ・プロログも日本では発売される事はないようである。代わってC言語が一層広く使用される傾向にある。

ここでは以下の規格、基準についてC言語を用い破壊力学適用部分に対話型式のエキスパートシステムを作成することを試みた。あまり破壊力学に慣れていない技術者もこれを用いて、亀裂の潜在する部材の安全性の評価、余寿命の推定を行うことが出来る。

- a) ASME Boiler and pressure Vessel
Code Sect XI
- b) BSI PD 6493 Draft Published
Document (Revision of PD 6493)
- c) "CTOD Methods: Proposals for
Revision to BSI PD 6493" by
S. J. Garwood, et al

なおc)についてはクイック・ベーシックを採用している。

これらのプログラムの作成は、卒業論文学生、修士修了論文学生の協力を得て行われた。

最近、また原子力発電所、航空関係、建設関係においてヒューマンエラーによる事故が発生しており、社会的にも大きな問題となっている。事故防止のための研究はエキスパートシステムの採用をも含めて、あらゆる面からさらに押し進めなければならない重要な問題であると言う事ができる。

参考文献

- 1) 小倉信和、“破壊事故例における人為ミスとその防止対策” 圧力技術、V o 1
25 No. 4 (1987) 207~215
- 2) 杉原俊夫 “RUN Prolog とその応用” 工業図書株式会社、
1987