

危険学プロジェクト
Group 5 「設計の思考過程」
(「本質安全」を目指して)

活動報告書

2012年5月31日

はじめに

活動を始めた動機（図 0-0-1. 参照）

本活動の発端となる出来事は、危険学プロジェクトが始まるより 3 年ほど前に発生した。2004 年 3 月 26 日に六本木ヒルズで 6 才の男児が大型回転ドアに挟まれて死亡するという痛ましい事故が起こったのである。従来は、このような事故の処置においては、“責任追及”と“原因究明”とが混同されるために、真の原因追及とそれによって得られるはずの知識の伝達が行われず、同じ失敗が繰り返されている。そこで「危険学プロジェクト」の代表である畑村洋太郎は一人として、“ドア”に潜む危険と安全化への指針を得ることを目的として、同年 6 月にドアプロジェクトを立ち上げた。

このプロジェクトには、事故が起きた大型回転ドアのあるビルを所有していた森ビルのほか、多くの企業や個人が参加し、プロジェクトに協力した（このプロジェクトの詳細は「ドアプロジェクトに学ぶ（日刊工業新聞社）」を参照のこと）。「危険学プロジェクト」の本グループ長である近石もこのプロジェクトに参加し、このような事故が起こり得ない安全な大型回転ドアはどうあるべきかについて、主に構造面から試行錯誤しながら考えた。

その結果、本質的に全く安全な大型回転ドアの案ができ（図 0-0-1. 参照）、それに基づいた模型も製作した（図 0-0-2. 参照）。

◆ 六本木ヒルズの大型回転ドアの事故に学ぶ

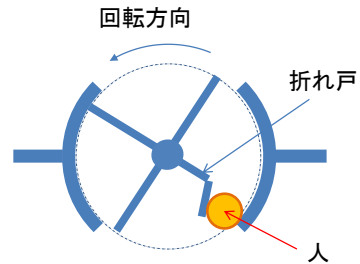
その1:安全を制御系のみ reliesするのは不安が残る

事故の原因 ; 重量のあるドアが、人を検出して止まるまで
空走距離が必要(ロジック上の問題)
それ以外にも; 制御系には、センサ・アクチュエータ・電子回路・
電源・ソフト等が正常に機能しないことがありうる

**その2:適正な構造を採用
することにより、重篤
事故は完全に防げる**

対策例: 人を挟むとドアが折れて、
人を守る(右図)

回転ドアの断面図



◆ 以上の考え方を一般化できないだろうか??

図0-0-1.活動を始めた動機(ドアプロジェクト)

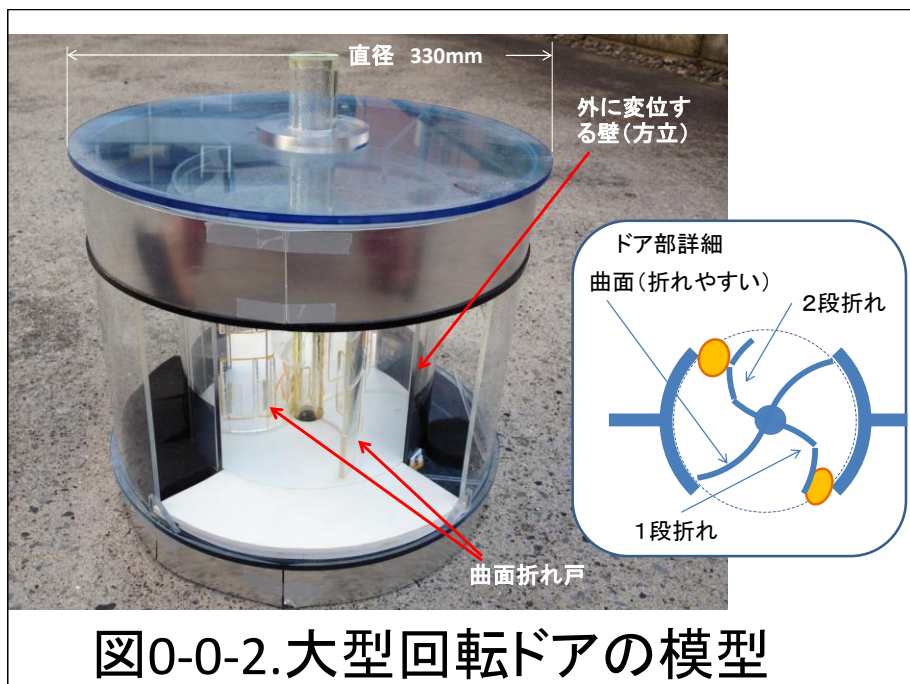


図0-0-2.大型回転ドアの模型

この構造によると、各回転扉それぞれが途中で折れるようになっており、仮に人を挟んでも軽い力で機械側が逃げて生存空間を作るので、人は決して強く圧迫されることはない。上記事故の主原因は、人の侵入を検出して重量のあるドアが止まるまでにある程度空走距離が必要だったので、急に飛び込んできた人には対応できないという原理上の問題であった。しかしながら仮に急停止が可能であっ

たとしても、制御系にはセンサ・アクチュエータ・電子回路・ソフトなどが正常に機能しない場合がありうるということが見過ごされていた。模型の方式の場合、このような制御系に頼る必要は全くない。ドアプロジェクトでは、このように制御に頼らず安全を確保するものを「本質安全」とよび、従来の制御に頼って安全を求める方式を「制御安全」と呼び、そのあるべき関係を明確にした。

すなわち、『製品は危険を回避するのに「制御安全」に安易に頼るべきではない。まずは「本質安全」を満たす構造を実現し、その後に補助的に安全装置を追加したり、使い勝手の良さを追いかけるために「制御安全」を使うというのが望ましい組み合わせの方法である』。

(参考 『「本質的安全設計」について』 近石)

世の中には「**本質的安全設計**」という概念がある。これは機械安全の基本概念規格と位置づけられる ISO12100 に定義されているもので、リスクを「**危害の発生確率とその危害の重大さの組み合わせ**」とし、製品のリスク低減を

- A. **本質的安全設計**
- B. 追加の防護手段による保護
- C. ユーザへの情報提供

の3段階に分け、「**本質的安全設計**」の定義を「機械を設計する際、危険源を含まない設計を実施するか、適切な設計手法を選択しリスクを低減することにより実現できる」としている。この定義によると、「**本質的安全**」は必ずしも制御を排除したものではない。従って制御系の不具合が発生した場合には重大な危害が生じ得る。制御系は通常、電源から始まってセンサ・アクチュエータ・電子回路（CPU・メモリを含む）・ソフトウェア・アルゴリズム・ロジック（例；安全を確保するための）などの多くの要素で構成されており、事故の発生確率を低くするには大きな努力を必要とするし、0（ゼロ）にするのは更に難しい。

これに対し、製品の「**本質安全**」の概念では、このような不安が残る制御系を排除し、自然法則を活用するか、あるいは機構等を用いて、危害のかかる不安のない安心できる製品を目指している。

このような経緯の後、危険学プロジェクトを立ち上げた畑村洋太郎代表から、グループのひとつに「設計の思考過程」を作ろうという提案があったとき、近石はこの「**本質安全**」をメインのテーマにしようと考えた。大型回転ドアで考えた「**本質安全**」の概念は他の製品にも適用できるのだろうか？そして、もし一般性

があるというのであれば、どのようなやり方をすればその答（「本質安全」構造）に行き着くのだろうか？ しかし、その場合の本質安全構造は、今まで存在していなかったとすれば、全く新しい構造を考えざるを得ない。我々の如き素人集団で可能かという疑問もあるだろうが、我々は必ずしもそうではないと考えた。理由は、「新しい考え」を生み出す場合、設計者は専門化すればするほどその専門性に拘束され、狭い範囲から出られないという特性があり、逆にそこから離れた立場にいるほど、精緻ではないが斬新な考え方が生まれやすいという特性があるからである。したがって、異分野に入り込んで、新しいことを考えることは従来にない面白い成果がでることもあり得るし、そこに挑戦したいという気持ちもあった。

活動の内容

活動のメインテーマは「本質安全」構造の実現と、それが可能になる開発手法（すなわち「設計の思考過程」）の提案である。活動の進め方として、まずいくつかの分野で、全く新しい「本質安全」構造の製品像を具体的に考える。次に、その過程を解析し、上位概念化することによって、開発手法を一般化しようと試みた。このように、実際のケースに即して考えることにより、徒に空理空論に走る事のないように心がけた。そして、その一般化への過程が分かるように「本質安全」構造の具体策および開発手法の双方から、その関連が分かるような記述を加えるよう配慮した。また、その説明に当たっては理解を得やすくするため、できるだけ図を多用した。

「危険学プロジェクト」が扱ったテーマのひとつに「原子力」がある。これは5年間の危険学プロジェクトの途中から、畑村代表の提案で始まったものである。エネルギー問題を中立的な立場から評価することを目的として、新たに「原子力」グループを作って検討を進めていたが、その後東日本大震災が起り、福島第一原子力発電所の事故が発生した。政府は事故の原因及び当該事故による被害の原因を究明するための調査・検証を、国民の目線に立って開かれた中立的な立場から多角的に行い、もって当該事故による被害の拡大防止及び同種事故の再発防止等に関する政策提言を行うことを目的として、「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」を設置し、その委員長に畑村代表を任命するという事情が発生したため、「原子力」グループとしての活動はそれ以降中断している。

我々のグループは、上記グループが発足する以前に、原子力発電所の「本質安全」に取り組んでおり、具体案も策定したが、その後東日本大震災に遭遇して、

図らずもそれらの案を考え直す貴重な機会を得た。本報告書ではその経緯および見直した案についても報告する。

報告書の構成

本紙の作り方としては、全体の統一を保ちつつ、各メンバーの意見を包含したものにするために、次の方法によることにする。

まず、グループがやってきたこと全体をグループ長が記述する。この際、グループで実施した内容を極力織り込むよう努めるが、グループ長の独断と偏見が入ることは御容赦願うことにする。

次にそれに対して、各グループメンバーがそれぞれの視点からコメントを加える。こうすることにより独断と偏見は修正され、かつ多面的な捉え方ができるので、議論が面白くなる。また、全員の思いを集約することができる。

コメントの内容は、異論・反論・蛇足・補足・提案・参考・感想・よもやま話等なんでもOKとする。挿入場所は文章の関連する場所にとこ構わず入れることにする。その際、分かりやすくするため表題は次のように趣旨・タイトル・氏名を記載する。

(例；反論；『……………について』 氏名)

報告書を読んでもらいたい方

この本を読んでもらいたい方は、第一には5年間の活動期間中、公私にわたって援助いただいた企業や多くの方々である。本報告書をもつてお礼に代えさせていきたいと思いますと思う。

しかしそれ以外にも

- ① 「安全な製品」を志向する設計者や、それに関わる人、
- ② 「独創的な新製品」または「独創的な考え」を作ることに興味がある人
- ③ 「今後の原子力発電所のあり方」を考えようとしている人
- ④ 若手技術者のための本を制作・改訂している「実際の設計研究会」のメンバー（グループメンバーの一部が所属している）
- ⑤ 危険学プロジェクトで互いに情報を共有しながら、共に活動してきた各グループ長にも読んでもらいたいと思っている。そして本報告書が何らかの参考になればこれに勝る幸せはない。

目次

はじめに 「活動を始めた動機」

第1章 理論編	1
1-1. 活動の目的	1
1-2. 活動の概念図（イメージ）	5
1-3. 活動の進め方	8
1-4. 活動結果（設計の思考過程）	9
1-4-1. 「開発ステップ」の改善	11
1-4-1-1. 「目標設定」のステップ	11
1-4-1-2. 「構造立案」のステップ	21
1-4-1-3. 「市場・販売」のステップ	22
1-4-2. 「新構造立案の方法」の改善	23
1-4-2-1. 上位概念へ上る	28
1-4-2-2. 従来技術の思考平面で構造案を考える	31
1-4-2-3. 新平面へ飛ぶ	33
1-4-2-4. 新平面で構造案を考える	35
1-4-2-5. 最適案を選定する	36
1-4-3. 独創性を発揮する	38
1-4-3-1. 独創性と思考展開図	38
1-4-3-2. 独創性と模型	50
1-4-4. 新構造の具体事例	57
第2章 実践編（具体事例の詳細）	58
2-1. エレベータ	58
2-2. エスカレータ	62
2-3. 大型回転ドア	66
2-4. 大型回転ドアに替わる新型ドア	67
2-4-1. 超軽量多機能二重扉	70
2-4-2. 超スムーズ二重扉	70

2-5. 新型遊動円木	79
2-6. 回転ホッピングシーソー	84
2-7. 原子力発電所	96
2-8. 機械式駐車場	123
第3章 危険地図と危険ホール	126
3-1. 危険地図を作成する	126
3-2. 危険ホールの形を知る	127
第4章 特許、グループメンバー	132
4-1. 出願特許	132
4-2. グループメンバーの紹介	133
おわりに	135
コメント類	
参考 『「本質的安全設計」について』	近石 iii
異論 『「制御安全」の定義』	張田 3
補足 『上位概念の「本質安全」とは』	近石 4
異論 『「本質危険」とは』	張田 5
補足 『犠牲を伴って初めて法令化が実現』	滑 7
蛇足 『「法令」について』	滑 7
補足 『大熱量を出し続ける』	匿名B 12
補足 『ベント弁（排気弁）』	匿名B 13
補足 『こどもと危険』	滑 14
感想 『原発事故に思う』	大笹 14
蛇足 『オール電化住宅と原発停止』	滑 15
補足 『原子力発電所の「本質安全」構造の見直し』	近石 15
補足 『理想像、本来どうあるべきかと独創性』	滑 16
補足 『「法令」と責任のがれ』	滑 17

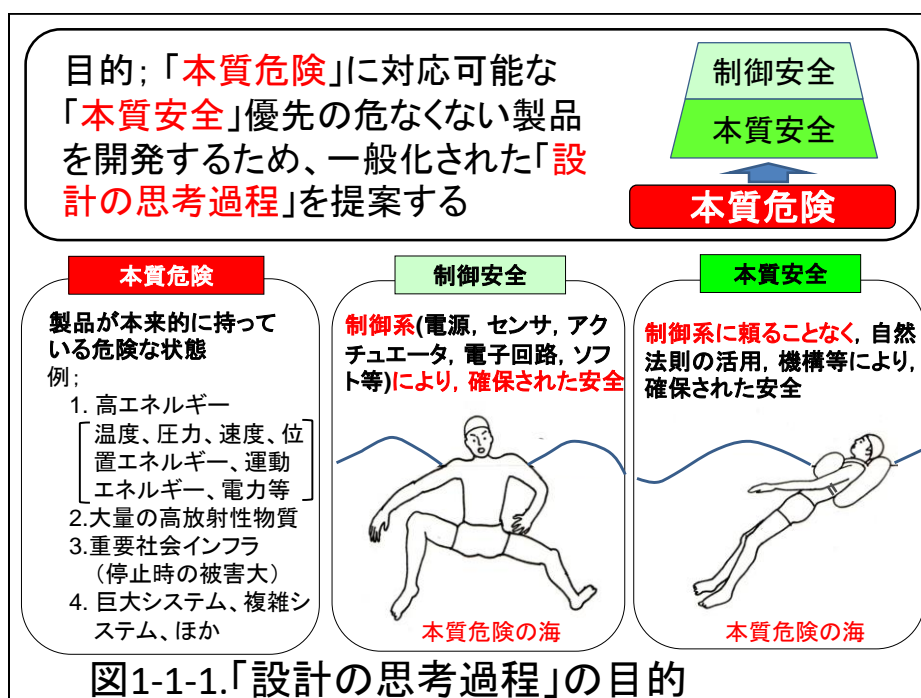
感想	『命に学ぶ設計者の心得』	大笹	20
蛇足	『暴走する品質保証部』	匿名 A	24
反論	『匿名 A さんに反論』	凶子	25
反論	『「反論」に対する反論』	匿名 A	25
意見	『別の視点で見た「品質保証部」』	匿名 B	26
補足	『「上位概念に上る」の上位概念とは』	近石	29
補足	『上位概念とトップダウン式思考』	滑	30
よもやま話	『日本の開発の問題点』	滑	31
補足	『逆演算思考と順演算思考』	近石	34
補足	『集団登下校と交通事故』	滑	35
蛇足	『馬車と蒸気機関』	滑	36
蛇足	『設計解は必ず存在する?』	近石	38
補足	『ステークホルダーからの見方』	張田	38
コメント	『CADの功罪』	凶子	39
注記	『実現したいこと』	近石	41
補足	『実現したいことは何のために』	中山	41
蛇足	『機器設計室と「実現したいこと」』	近石	42
補足	『3つの平面』	近石	44
補足	『3つの平面—その2』	近石	49
補足	『思考展開図における模型作りの位置づけ』	近石	54
補足	『模型について』	張田	57
補足	『「直観」について』	近石	69
補足の補足	『直観とトップの仕事』	近石	69
補足の補足	『直観について』	張田	69
補足の補足	『直観について』	中山	69
補足	『リング型ブランクについて』	近石	80
補足	『ロボーツの機構について』	近石	83
注記	『上位概念の「本質危険」とは』	近石	87
感想	『上位概念の本質安全』	中山	88
補足	『次々と変わる想定』	近石	98
補足	『浜岡5号について』	匿名 B	99

補足	『原子力発電所の「本質危険」』	近石	100
注記	『上位概念の「制御安全」とは』	近石	103
提案	『独断と偏見による「これからの原子力発電所」』	近石	106
質問	『上記提案に対する問いかけ』	滑	119
補足	『問いかけに対する回答』	近石	120
コメント	『発電システムについての個人的見解』	滑	120
補足	『NIMBY』	張田	121
蛇足	『歩行中の携帯電話』	滑	126

第1章 理論編

1-1. 活動の目的 (図 1-1-1. 参照)

「はじめに」の項で述べたように、安全な製品を開発するにはまず「本質安全」を満たす基本構造を実現し、その後に補助的に安全装置を追加したり、あるいは使い勝手の良さを追いかけるために「制御安全」を使うというのが望ましい組み合わせの方法である。(「本質安全」、「制御安全」については後述する)



この「本質安全」構造を考えるためには、従来製品のどこに危険が存在しているかを知る必要がある。その場合、単に表面的な事象にのみとられることなく、その製品が本来持っている危険な状態が何かを見極めることが重要であると考えた。ここではこれを「本質危険」と呼ぶことにする。本質的であることは、上位概念に上ることにも通じるので、他分野の知見や経験を生かすことが容易になる。たとえば、エレベータや電車のドア設計者の間ではドアの運動エネルギーは 10 ジュール (例えば 20kg のスライド式ドアであれば、100cm/秒の速度で動いている状態) 以下にすべきという常識があったが、事故を起こした大型回転ドアの場合は、ヨーロッパのメーカーから技術導入して日本仕様に設計変更する際、その知見は生かされず、回転体の直径 4.8m、質量 2,700kg もある極めて重いドアが約 78cm/秒の周速

で回ることになり、事故の一要因になった。

このように、運動エネルギーが大きいことは「本質危険」の一種であるが、同様にエネルギーが大きい他の種類のものも「本質危険」となる。たとえば高温・高圧・高速・大位置エネルギー・大電力などがこれに当たる。以上のような高エネルギー状態は瞬時に人体を損傷する危険性を持っている。

また、大量の高放射性物質は、浴びたそのときには見た目にはなんともなくとも、長期に人体をむしばむことから「本質危険」と言える。

上記とは異なるが、重要な社会インフラも「本質危険」に相当すると考えた。これは危険の対象を社会にまで拡張したもので、ひとりひとりに対する影響は小さくても、社会全体に大きな被害を与える可能性を持っており、これがダウンしたときの社会的影響が甚大であるからである。

同様な意味で、巨大システムや複雑システムは重要インフラと重なることが多く、社会にとって「本質危険」的要素を持っている。それだけではない。原子力発電所のような巨大システムは、一旦大事故が発生すると、その対処には全システムの全体像と、原子レベルのマイクロメカニズムの双方を把握している人物が少なくとも一人はいなければならない。そして、その人に必要な情報が入るようにしなければならない。今回は圧力容器の温度や水位という最低限必要な情報も途切れて、危ない綱渡りをせざるを得なかった。このような人物や情報をいつ・いかなる状況下でも確保しておくのは難しい。この意味でも巨大システムは「本質危険」を内在していると言える。

原子力発電所は、以上のほとんど全ての要素を持っており、注目すべき特異な存在であると言える。

つぎに、「本質安全」、「制御安全」についての定義を明確にする。

「本質安全」とは、安全性に対する不安が残る「制御」に頼らないことを大前提にし、その上で、製品の安全を確保するための基本構造を決めることである。例えば、前節で述べた大型回転ドアの場合は、各回転扉が途中で折れる機構を採用することにより、万一、人が挟まったとしても、人を強く圧迫して重篤な状態にさせることは起こり得ない。このように、制御に依存せず安全が保たれた状態を「本質安全」という。これを実現した上で「制御安全」を追加することは有効である。例えば人が挟まれそうになったときに、直前で止まる制御などがこれに相当する。こうすることにより、通常は挟まれそうになるとセンサがこれを検知して機械側が事

前に止まり、危険な状態が解除されると自動的に再起動するので、使用者には不便を感じさせない。また大型回転ドアでは、挟まれる以外にも小さな危険はある。たとえば、扉は回転しているのでモタモタしていると後ろから扉に押され、転倒する可能性がある。これを防止するために後ろから追いかけてくる扉に接触しそうになったら、これを検知して自動的に止めるかまたは速度を落とす制御を追加することも有効である。このようにして安全性を保つこと、使い勝手を良くすること、小さな危険を排除するための制御を、ここでは「制御安全」と呼ぶことにする。

(異論 『「制御安全」の定義』 張田)

「制御安全」の定義としては、「安全を守るために使い勝手を良くすることや、小さな危険を排除するための制御」ではなく（グループ長は「制御安全」を、この位置付けにすべきと提案している）、「製品の環境状況を何らかのセンサで把握することで、製品の状態を安全と思われる方向に向ける、安全確保の方法」とした方が良いと思う。

以上のように「本質安全」と「制御安全」との組み合わせによって構成した大型回転ドアは、通常は「制御安全」によって安全かつ便利に使えるが、制御系が故障するか、あるいは想定外の使い方によって万一人が挟まれたとしても、ドアが折れて生存空間ができるので、挟まれた人は安全である。このような組み合わせの方法が安全な製品として望ましい形といえる。

図 1-1-1. では「制御安全」と「本質安全」を、船から投げ出されて長時間危険な海（本質危険）を泳ぐ人で説明している。「制御安全」だけに頼って泳ぐ場合は、いろいろなリスクがある。アクチュエータである足がこむら返りで攣ってしまった場合や、回路である神経が寒さで痺れた場合、あるいは疲労により電源である体力が消耗したり、CPUである脳が眠ってしまう場合、またそもそも「泳ぐ」というソフト自体が脳に入っていない（つまり泳げない）場合等いろいろ想定できるので、溺れないことを保証するのは難しい。これに対し、「本質安全」の場合はライフジャケットをつけているので、前述の制御系のあらゆる不具合にかかわらず溺れることはない。あとは好きなように泳いでもよいし、仮に眠ったとしても問題はない。

以上の各定義を明確にした上で、改めて本グループの目的を明確にする。

『本グループの活動の目的』は、あらゆる分野において各設計者が、「本質危険」に対応した「本質安全」構造を持つ、危なくない製品を開発できるようにすることである。そのためには、開発の手法そのものが一般化され、各設計者が使えるようになることが必要である。この手法の中には、本質安全を実現するための開発ステップや世の中になかった新しい独創的な考えを生み出す方法なども含まれる。ここではこれらを「設計の思考過程」と表現した。このように各設計者が利用可能な『一般化された「設計の思考過程」を提案すること』が目的である。

(補足 『「上位概念の本質安全」とは』 近石)

活動の始まりはこのように「製品の本質安全」からスタートしたが、活動が終了した今は、それだけでは不十分で、「組織・社会の本質安全」まで含めるべきと考えられるようになった。

このきっかけは、原子力発電所で、津波事故以降、想定される基準地震動や津波高さやそれに関係する安全方針が頻繁に見直され、そのたびに対策を迫られているからである。このように原子力発電所が「想定」という見えない危険情報の変化に応じて内部を適応させている状況は、広義にみれば「制御安全」とも見る事ができる。国民の側から見ると想定が妥当なのか、妥当だとしても原発側の対応に問題がないのか、不安な状態が続いている。そうではなくて、このような不確実な想定に振り回されることがない、本質的に安全な原子力発電所の構造はないだろうかと思ひ立ち、その一例として「沖合浮上型原子力発電所」の提案に至った(詳細は2-7.原子力発電所を参照)。

以上の例は、製品の規模が大きくなった場合の、組織体の「本質危険」とも考えることもできるが、さらに原子力発電所の事故が放射能の拡散や電力問題等社会に深刻な影響を与えている現状を考えると、社会にとっても「本質危険」が露呈したともいえる。

これら全てを含めたものを「上位概念の本質安全」と考えると、その定義は次のようになるのではないだろうか。関連する概念も合わせて定義すると、

- ・上位概念の本質安全；製品または組織体・社会がその外部の変化に関係なく
本来の自然法則や内部機構のみで確保された安全
- ・上位概念の制御安全；製品または組織体・社会が外部の変化に対応して、内部の状態をその変化に適合させることにより、確保された安全

・上位概念の本質危険；製品または組織体・社会等が本来持っている危険となる。すなわち制御系とは、『外部の状況の変化を検知し、それに応じて内部を目的に沿うように適合させること』と考えると、制御系があること自体が、検知の適否・判断の適否・行動の適否など、本来的に不安定性を内在し、そのことにより安全を損なう可能性を残しているということである。

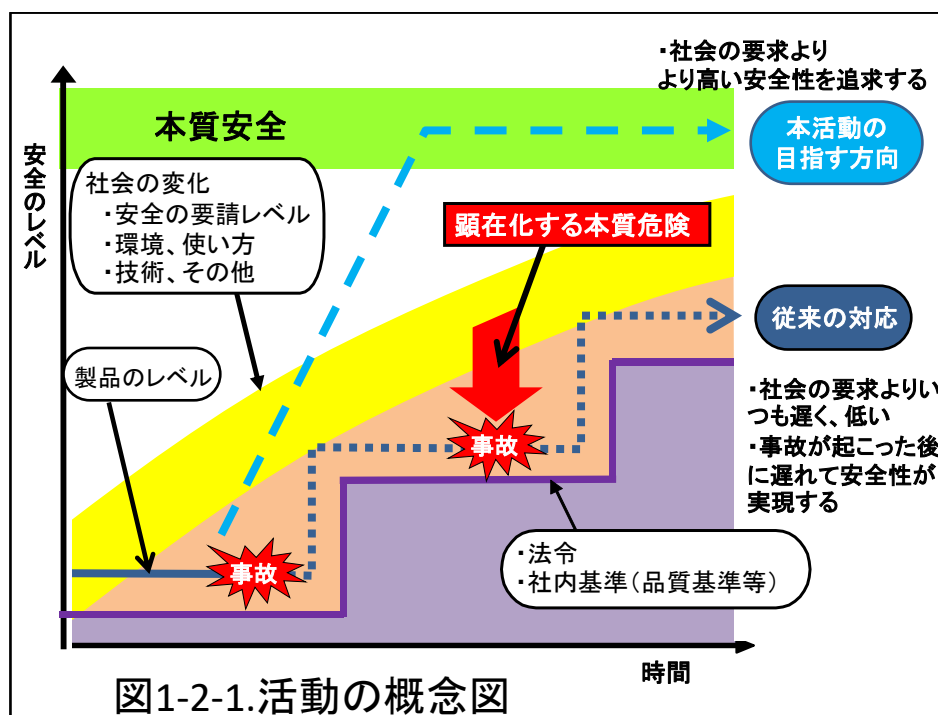
この意味では、制御をも許容した従来の「本質的安全」の概念（詳細は『「本質的安全設計」について』4ページ参照）とは異質のものと言える。

（異論 『「本質危険」とは』 張田）

「本質危険」とは、「環境・外部（内部もあるか）の変化によって安全を損なう可能性である」と思う。変化が無ければ、安全であったものが、変化によって安全が損なわれる可能性が大きくなるのである。したがって変化（これまでの変化および今後）を如何に把握・解析するかが、本質危険を明確にするために、大変重要である。例えば、2008年8月の東京ビッグサイトのエスカレータ逆走事故は、同時にあれ程の人がエスカレータに乗るとは、設計段階で思っていなかったのである。使用状況（エスカレータのみならずその周辺）の変化の結果、逆走事故が発生したと言える。

1-2. 活動の概念図（イメージ）

図 1-2-1 は、製品の安全をどのようにレベルアップしていくべきかについて示している。



横軸は「時間」、縦軸は「安全のレベル」を表している。社会や環境は変化しており、その製品が世の中に出ても常に変化している。ユーザが想定外の思わぬ使い方を始める場合もある。また安全に関しては、まわりの製品の安全レベルが上がると個別の製品に対する要求レベルも自然と上がってくる。これらの変化を黄色の線で表現している。例えばエレベータのドアの場合は、閉まる直前に手を入れてもドアが手を挟まず、再び開いてくれる。また電車のドアの場合、挟まれてもそのことで人が怪我をするような大きい力を出していない。このような機械がまわりにあふれ、これが当たり前になってくると、それができない機械は以前より相対的に危険になってきたことになる。たとえば大型回転ドアに初めて出会った子供は、エレベータや電車などと同様、どんな使い方をしても怪我をすることは無いと思うかも知れない。しかし実際の大型回転ドアがこれに対応できていないとすると、この落差が事故につながることになる。これは別の言い方をすると、『その機械が本来持っている「本質危険」が、社会の変化により顕在化し、それが新たな事故を誘発する』とも言える。したがって、事故が発生してその対応をする場合は、その事故を誘発した元になっている社会の変化や、特に安全に対する社会の要請に応えるレベルにする必要がある。このようにして、改善された製品の安全レベルは従来に比べて一段階、上がることになる。

もし、その事故が社会的に重大な場合は、さらに法令がこのバックアップとし

て成立する。重大でなくても社内基準ができて再発防止が図られる。このようにして、安全のレベルは階段状に上がるというのが一般的なパターンである。

しかし、従来パターンの開発をした場合、問題点はいくつかある。最大の問題は、事故という犠牲を伴って初めて法令化が実現するということである。また、その実現時期は社会の要請よりも遅く、かつその達成レベルも低い。レベルが低いのは関連するメーカ全て（通常は、彼らが参加している協会が仕切っている）がコストを含めて実施可能になるようレベルを抑えたいという力が働くからである。とはいっても、社会の要請レベルには応える必要があるので、要求の中の最小限（図の黄色帯の下限）を満足するレベルに落ち着くことが多い。従来パターンでさらに問題なのは、その事故を解決しても、その後安泰でいられるかということ、そうとは限らない。社会の側は必ず変化していくので、変化しない製品との差が必ず生ずる。すなわち、本質危険が再び顕在化する等により、新たな事故が起こる可能性が残されていることになる。このように、事故の連鎖によって製品の安全は一步一步改善されるというのが従来のパターンである。

（補足 『犠牲を伴って初めて法令化が実現』 滑）

航空業界には、「Tombstone Safety」（墓石が立って安全レベルが向上）ということばがある。興味がある方は調べてみるとよい。

（蛇足 『「法令」について』 滑）

こういった規制を図る場合、業界での自主規制（業界団体によるもの）と直接法律によって規制を図る場合がある。いずれの場合も、何らかの外殻団体あるいは認証機関が作られ、そこに利権構造が生まれる場合が見受けられる。また、海外の優れた製品の日本市場参入を阻む目的で、日本独自の規格が作られる場合もあるのではないか。世界標準の安全基準があるのに、なぜ日本独自の安全基準が必要なのか、理解に苦しむ場合がある。

ところで、餅をのどに詰まらせる人が出てもさほど問題にはならないが、こんにやくゼリーをのどに詰まらせる人が出てくると、騒ぎ立てる人がいるのはなぜだろうか？

これに対して、本グループの目指す方向は、「本質安全」である。「本質安全」

とは製品の周囲の状況に関係せず、最も基本的な構造レベルで安全を確保することになるので、図で見るといきなり最高水準の安全レベルに到達することになる。このことにより従来パターンで発生していた事故の連鎖は起こり得なくなる。また社会の要求よりも当然高いので、社会との問題も起こり得ないことになる。

しかし、世の中にこんなうまい話があるのか??

まずは挑戦してみよう!!

1-3. 活動の進め方 (図 1-3-1. 参照)

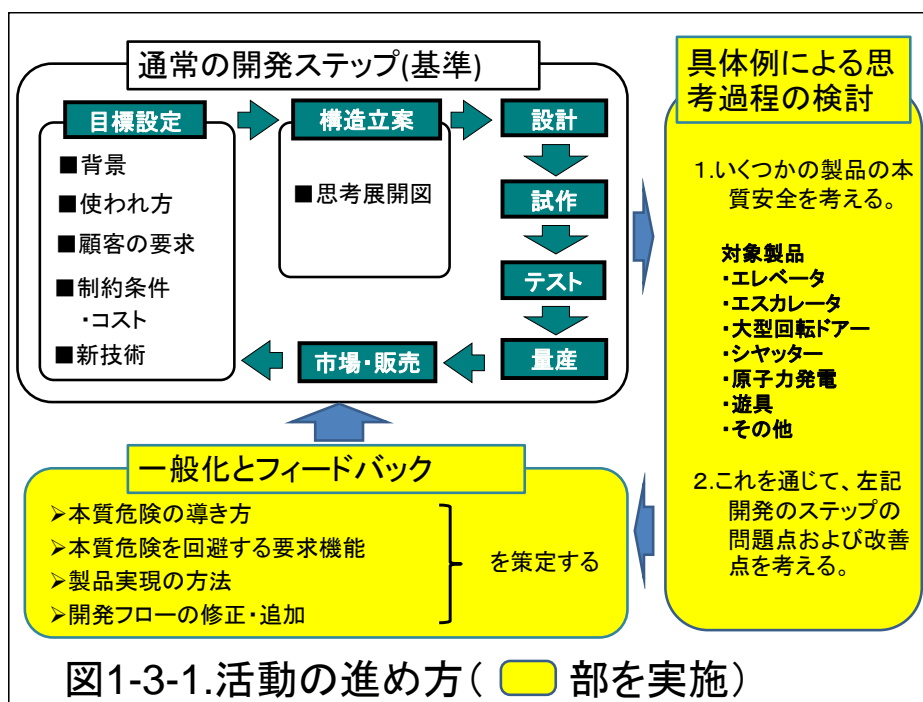


図1-3-1.活動の進め方 (黄色い部を実施)

筆者らの目的である『一般化された「設計の思考過程」を提案する』ためには、まず従来のやり方でやってみてその問題点を改善することが現実的な方法である。

従って、開発ステップも最初の基準となるステップは次のように従来の通りとした。

目標設定

→ 構造立案 (構想立案)

→ 設計

→ 試作

→ テスト

→ 量産

→ 市場・販売

次に、具体的に「本質安全」構造を検討する対象となる製品の選定は、次によった。

- 「危険学プロジェクト」や「ドアプロジェクト」で取り上げて実証実験を行ったテーマ、これらは実験などを通じて実際の構造や安全装置などを学ぶ機会も多く、より具体的な提案ができた。例えば、エレベータ、エスカレータ、大型自動回転ドア、機械式駐車場など。
- 「遊具」グループと共同で開発を行ったもの。これらは実際に遊具を製作して、ユーザである子供たちに使ってもらった。例えば新型遊動円木、回転ホッピングシーソーなど。
- 畑村代表がプロジェクトの途中から必要性を強調した原子力発電所も対象に加えて検討を行った。
- 上記以外にも検討を行ったが、報告する段階まで至らなかったため本報告書から割愛したもの、例えばジェットコースタ、新幹線、などがある。

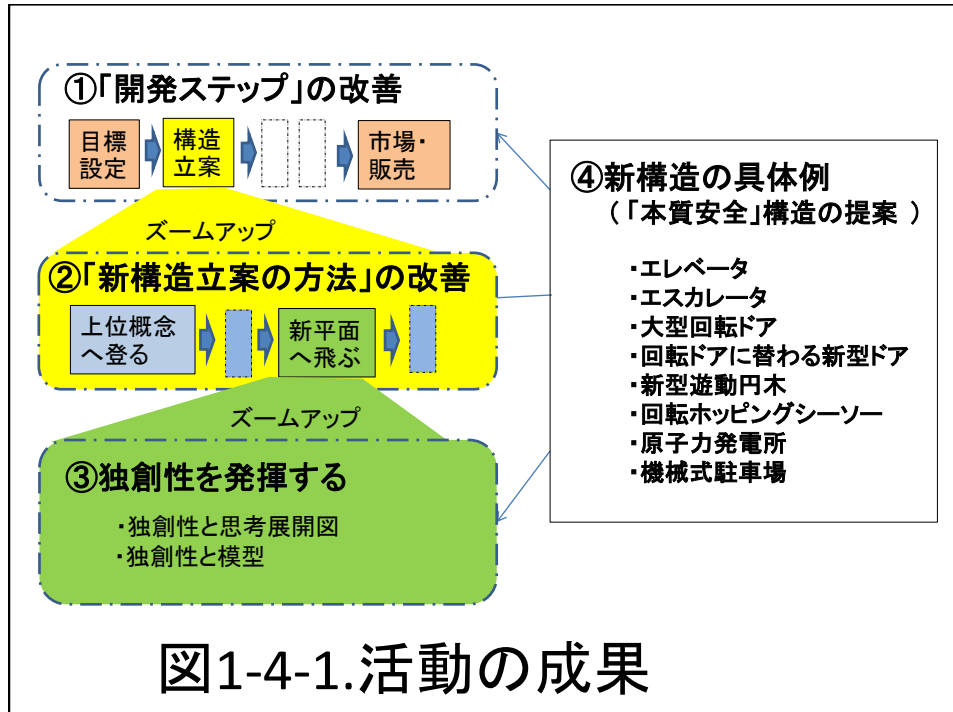
また、その実現可能性を見るために遊具のように実際に実機を製作したものもあるが、実機を作ることができないアイデアは、極力模型などを製作し、その機能や動きをできるだけ実物に近いもので確認することにした。

これらの試行を通じて明らかになった問題点や改善点およびその解決策は上位概念に上げることにより一般化し、従来の開発ステップにフィードバックした。

なおフィードバックに際しては、改善システムと具体例との関連を明確にするために、改善システムと具体例のどちらから読んでも、その経緯が分かるように心がけた。例えば「具体例」を読む場合は、どのような視点に着目して上位概念化し、改善システムのどこにフィードバックしたかをできるだけ記載した。また「改善システム」を読む場合は、その改善点がどの具体例から持ってきたかが分かるように心がけた。

1-4. 活動結果（設計の思考過程）

図 1-4-1. のように、5 年間の活動の結果、主に 4 つの成果があったと考えている。



● 「開発ステップ」の改善

「本質安全」構造を実現することに重点を置いた改善を実施した。基本的な開発ステップそのものは変わらないが、各ステップの実施内容の改善点を提案する。

● 「新構造立案の方法」の改善

上記「開発ステップの改善」の中で特に重要となる「構造立案」のステップに焦点を当ててズームアップし、詳細に検討した。ここでは、思考展開図を用いた方法を提案する。

● 「独創性を発揮する」

上記「新構造立案の方法」の中でも、特にまったく新しい独創的な製品を考える際に重要な「新平面へ飛ぶ（独創力を高める方法）」については、さらに深掘りした。

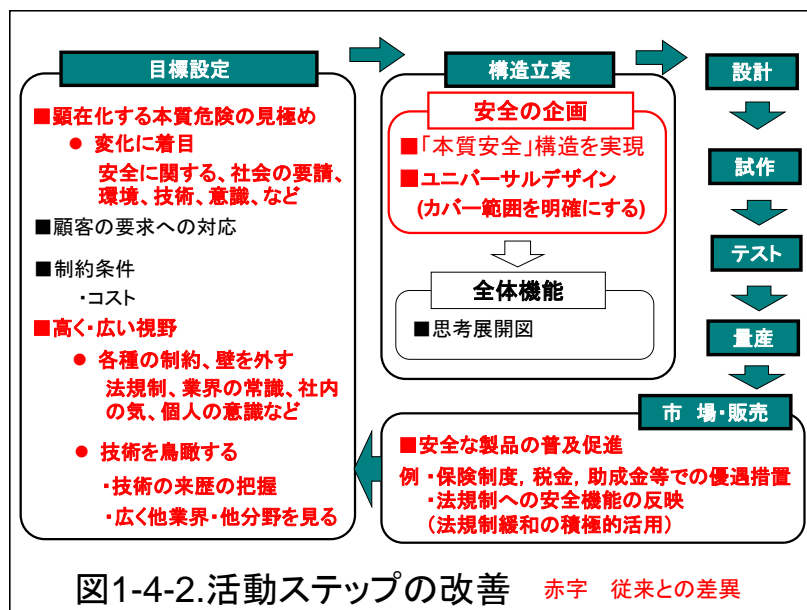
● 「新構造の具体例」

「本質安全」構造を実現したアイデアや模型またはこれに基づいて製作し

た製品も、成果のひとつとして提案する。
 以上であるが、次にこれらを詳細に述べる。

1-4-1. 「開発ステップ」の改善

図 1-4-2. で示すように、開発ステップでは、基本的なフローそのものは従来と変わらないが、各ステップで実施すべき内容が「本質安全」構造を実現するための方法に重点が置かれたものになっている。その中でも特に大きく変わったのは「目標設定」のステップと「構造立案」のステップである。

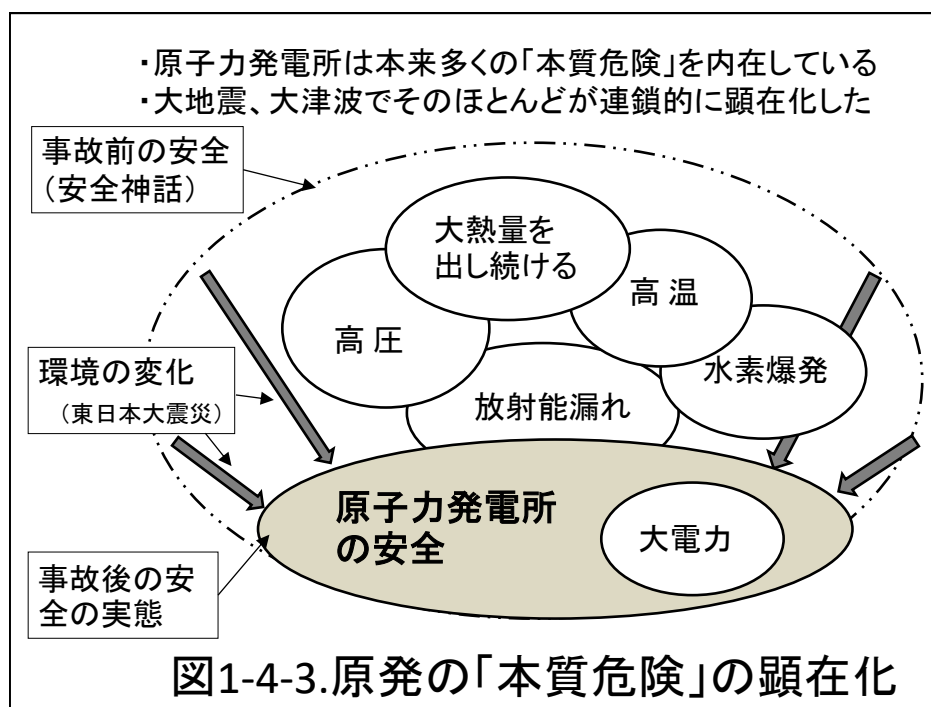


1-4-1-1 「目標設定」のステップ

「本質安全」構造の立案を行うためには、対応すべき「本質危険」が何かを把握する必要がある。本来製品は「本質危険」を内在していることが多いが、それ自体が必ずしも問題になっているわけではない。たとえば、新幹線の「本質危険」は高速度で運動エネルギーが極めて大きいことにあるが、それが事故につながったことはない。これは安全対策が十分とられているために、「本質危険」が表面化していないからである。ここで問題にするのは、このような対応された内在する「本質危険」ではなく、表に出てくる顕在化した「本質危険」である。そのためには、安全に関する社会の要請や環境や技術の変化を見てどのような「本質危険」が顕在化するかをよく見極める必要がある。以下に「変化」が「本質危

険」を顕在化させた例を四つ挙げる。

- ① 前述の「活動の概念図」の項では、エレベータや電車のドアなどの一般の製品の安全性が人々の間で常識化するに伴い、それと乖離した大型回転ドアが事故を招いた可能性について説明した。これは安全に関する周辺の技術の変化が、大型回転ドアの「本質危険」を顕在化させた例と言えよう。
- ② 「原子力発電所は、何重もの安全対策を実施しているので、絶対安全です。心配はありません。」というのが原発推進側の口癖だったし、国民の多くもそう信じてきた（いわゆる「安全神話」）。しかし、今回の東日本大震災の大津波でその評価は一変し、その多くの「本質危険」が顕在化してしまった（図1-4-3.参照）。たとえば、原子炉が止まった後も燃料が「大熱量を出し続け」、そしてその後「高温」による燃料棒溶融へと続き、燃料棒が溶けたことで発生した水素ガスが原子炉建屋内に漏れて「水素爆発」を起こした。また、格納容器の破損を避けるために、高圧になった気体を外部に放出したことにより、大量の放射性物質が大気に放出された。



今回このように多くの人が知らない「本質危険」が連鎖的に顕在化したのは、大津波の経験という大きな変化がもたらしたものと言える。

(補足 『大熱量を出し続ける』

匿名B)

軽水炉における「停止」という言葉は、原子炉が「完全に停止する。」との錯覚を起こさせる。一般産業および身の回りにある機械装置はそのエネルギー源を断つ（例えばコンセントを抜く）、またはエネルギー源そのものの活動をとめる（例えばボイラーの消火）ことによって「完全に停止」する。エネルギー源によってはその消火に数日かかるものや、慣性によって停止に時間のかかるもの（大型タンカーなど）が存在するが、これは想像可能な範囲内である。

しかし、いったん火のついた原子燃料は放射線や崩壊熱を出し続け、100℃以下で保管可能になるのに十数年、放射線にいたってはほぼ永久的に出続ける。すなわち原子力と言うところの「停止」は発電機能が停止することであって、危険（熱、放射線）が排除されることにはならない。

筆者らが普段使用している機器にこのようなものは無いことから、原子力は非常に特異な存在である。

（補足 『ベント弁（排気弁）』 匿名B）

一般に圧力容器には、容器をその最高使用圧力以下に保持するために安全弁の取り付けが法令等で要求されている。しかるに、福島の高圧格納容器についているベント（排気）弁は自動噴出する弁ではなく、人間が開閉操作をする電動弁であり、いわゆる安全弁ではない。福島では電源喪失のため遠隔での操作が不可能となり、特攻隊が手動で開けることになった。

これは、「5重の壁」論に発する矛盾に起因していると思われる。原子炉圧力容器には主蒸気配管に自動噴出する安全弁が設けられており、異常圧力を生じた場合蒸気を格納容器内のサプレッションチャンバーに逃がし、圧力容器を破壊から守っている。当然、この弁が長時間動作すれば、格納容器内の圧力は上昇する。しかるに、格納容器には同様の自動噴出する安全弁は設けられていない。高圧力による破壊防止に対する安全と、放射性物質を含んだ高圧力蒸気の外部放出を許さない（密閉）という異なった安全意識が混在し、非常に奇妙な矛盾した構成となっている。

- ③ 遊具の項では、危険な遊具を公園から撤去しようという親たちの過度の安全志向が、ねらいとは逆に子供達が危険に気づく能力を育てる機会を奪い、それこそが「本質危険」であるとみなした例を説明した。（詳細は「7-

6. 回転ホッピングシーソー」項参照)。これは畑村代表の主張でもあるが、このような逆説的な捉え方も時には必要であるという例である。

(補足 『こどもと危険』 滑)

こどもがナイフを使わなくなった(使わせなくなった)ため、小さいころに刃物の危険性や怖さ、痛さを経験することがなくなった。その結果、簡単に人を刺すような事件が発生するようになったのではないか。筆者らが小さいころは、ナイフを使って竹とんぼや杉鉄砲をつくったりしたものである。その際手を切ることもあったが、それによって刃物の怖さや危険性を理解したのではないか。

- ④ 事故を起こした大型回転ドアも、危険学プロジェクトが行った実験結果を見ると大きな挟み力を持っていた。事故の犠牲者は6歳の男児だったが、ドアに挟まれれば、成人男性であっても同じような結果になっていたであろう。それくらい大きな力なのである。明らかに本質危険が存在した。しかし、欧州で開発された元の製品を見ると、フレームは軽いアルミ製で、回転部分にもアルミ骨材が使われており、それほど大きな力がかからない。

日本に導入された後、徐々に手が加えられ、最後には殺傷能力を持つ怪物的な機械へと変貌したのである。推測するに、最初にフレームのアルミが見栄えのいいステンレスに置き換えられ、次に強風・ドラフト現象(暖かい空気が上に昇り、低層階の気圧が低くなる現象)対策として骨材の部分もステールに変更されたのではないだろうか。これは、設計者が「本質危険」を認識しないでいたために、追加変更が加えられるたびに、少しずつ「本質安全」が失われ、逆に「本質危険」を有するように機械自体が自ら変化していった例と考えられる。

(感想 『原発事故に思う』 大笹)

今回の大津波で確かに、隠されていた「本質危険」が顕在化された。原子力事故発生時に専門家の意見を聞いていて、電源喪失したらこのような推移を経るといのは、坂道で玉を転がしたら、下に転がっていくように自明な事だそう。

その解説を聞いていて、「えー」と思わざるを得なかった。なぜ、原発群の共通非常事態ツールとして移動式の電源(電源船でも良い。原発はみな海辺にある)

でも、準備しなかったのだろうか。何故、直ぐに架設できる機動的な冷却システムでも準備しなかったのだろうか。それが分かっているながら電源喪失という非常事態に関する手を何も打っていないのには驚いてしまう。そして、刻々と変化していく危機的状態の中で、ヘリコプター散水するようなぶざまな対応しかできない準備の悪さに、絶望してしまうしかなかった。そして、今もって非常時の対応を策定し、進めているという話は聞かない。*1（*1；HP掲載時の修正；削除修正理由；当時、多くの非常用電源や予備品が配備されていることは報道されているので、誤認識と思われる。従ってこの文面は削除する。）原発を止め年間何兆円というお金を発電のための燃料費の支払いに当てるなら、そのお金を非常時の機動的な対応策にでも使えばと、素人はついつい思ってしまう。

（蛇足 『オール電化住宅と原発停止』 滑）

ひところ、あちこちで「オール電化住宅」という言葉が躍っていた。しかしながら震災後に実施された計画停電の影響か、最近ではこの言葉自体がなつかしいものとなってしまった。家庭においても、複数の選択肢（たとえば電力とガス）を残しておく方が、リスクが低いということが分かったからであろう。

ここで原油や天然ガスの売り手の立場で考えてみる。すべての原発が停止した（2012年5月末時点）日本に対して、「この価格でどうですか？いやなら買っただけなくとも結構ですよ。」ということにならないだろうか？

日本には、国家としての明確なエネルギー戦略があるのだろうか？原発停止と並行して（原発を停止するのであれば）、国家として天然ガス採掘権などの確保に走る、あるいは日本近海に豊富にあるといわれているメタンハイドレートの活用に向けた研究を推進する（もしくは加速する）といったようなことが必要なのではないだろうか？今の国会議員の中に、このような考えをもって行動する人はいるのだろうか？

以上のように、安全に関する社会の要請、環境、機械や技術の変化をよく見て、どのような「本質危険」が顕在化するかを把握することが「本質安全」な構造を考え始める準備段階として重要なことである。

（補足 『原子力発電所の「本質安全」構造の見直し』 近石）

原子力発電所は想定外の大地震に対応するため、私は当初、空気浮揚式の原子

力発電所を陸上の海岸沿いに設置するのが最適と考えていたが、現在は海上の沖合に設けた浮上式の原子力発電所が最適ではないかと考えるようになった。

考え直したきっかけは、2011年3月11日の東日本大震災の津波が原因で福島第一原子力発電所が壊滅的に破壊されたのを見て、社会の原子力発電所の安全に対する危機意識（要請レベル）が急激に上がるという大変化が起こったからである。そして私も顕在化した多くの「本質危険」を改めて検討した結果、「沖合浮上式原子力発電所」が最適と思えるようになった。（詳細は 2-7. 原子力発電所の項参照）

再び図 1-4-2. に戻る。目標設定のステップで次に重要なことは、「本質安全」の新構造を考えるに際して、できるだけ高く広い視野を持つことである。それには準備段階で、制約になることや心理的な壁を意識的に除くこと、および技術を時間軸、空間軸で見渡せる高い視点を持つことが重要である。

これを以下のような 4 つの事例で説明する。

(1) 法規制の一旦排除

重大事故が発生すると、再発防止のために、法令で規定することが一般的である。しかしこれにこだわっていると新しい考えは出てこない。このことを以下の 3 例で示す。

- ① エレベータ業界では、高校生が挟まれた事故を契機として、従来あった戸開走行防止システム（扉を開いたときに、かごが上下方向に動かないようにした制御システム）に加えて、それとは独立した戸開走行防止システムを加えることが義務付けられた。

このような制御を前提とした法令があること自体が、無意識のうちに「制御安全」を考える思考パターンに陥ってしまう背景となる。ここからは「本質安全」構造を立案しようとする空気は生まれがたい。

しかし、仮に「本質安全」の新構造を考えようとしても、使われる可能性のない無駄な制御装置が二重に義務付けられていることになるので、コスト的にも明らかに不利になり、社内の判断も「採用」にはなり難いことが予想される。

それを見越せば、「本質安全」構造を検討しようとする空気も必然的に抑えられることになる。取り組みに当たっては、このような制約を一旦外し、『本来ど

うあるべきか』という原点から出発しなおすことが重要である。

(補足 『理想像，本来どうあるべきかと独創性』 滑)

日本では，学校教育の中で独創性を問うような教育が行われていないのではないか。先生はあらかじめ答のわかっていることを教えるのみで，正解が定まっていない問題を生徒に問いかけるようなことは，おそらく行われていないであろう。

こういったところに，日本人から独創的な考えが出てきにくい（後述の「新平面に飛ぶ」ことができない）という原因があるように思う。先生が事前に用意してあることとは異なる答を出したり，反するようなことを言うと，評価を下げられるのではないか？これは企業においても同じである。「そんなことはこれまでにやったことがない（前例がない）」，「これまでこういうやり方でやってきたのだから，このやり方が一番よい」，これでは独創的な新規技術や新製品など，出てくるわけがない。「前例がないからやる」，という姿勢がほしい。

本来どうあるべきなのか，理想像はどのようなものなのか，問題の本質はどこにあるのか，制約を外してこういったところまで遡って考えれば，これまでとは異なる解が見つかるかもしれない。

- ② エスカレータでは，平塚市で男児が三角部に設けられた保護板に挟まれるという事故が発生した。その際，建築基準法で定められた「手すりの上端部から鉛直に20cm下まで届く」ことに対する違反が報道されたが，畑村代表が行った実証テストの結果，問題は手すりと保護板の距離であることが分かった（詳細は「2-2. エスカレータ」項参照）。法律にこだわった対応をしていれば，保護板の長さを基準に合わせることで「事足れり」となり，真の原因にまでたどり着かなかったであろう。

そしてまた同じような事故がどこかで起こるのである。

法令をいきなり鵜呑みにするのではなく，まずはそれらを見無視した状態で「本質安全」構造を考え，その後，必要性を納得したものから使うようにすべきであろう。また他のすぐれた達成手段を使うことにより不要になる法令は，使わずに済むような法体系が望ましい。

(補足 『「法令」と責任のがれ』 滑)

「法令を順守しているから、筆者らに責任はありません」といったように、法令が責任逃れの隠れ蓑にされてはいないか。また社会の変化との比較で法令が形骸化していないか、今一度法令の虫干し、棚卸が必要ではないだろうか？

- ③ 原子力発電所では、旧指針では発電所本館等の重要施設は岩盤上に設置（いわゆる岩着）することが求められていたが、2006年に制定された耐震設計審査指針では、これを「建物・構築物は、十分な支持性能を持つ地盤に支持されなければならない」に変更することとなった。いずれにしても地上に設置することが暗黙の前提になっている。岩着の思想を知らない者は、この制約から離れて自由に考えられるが、これを知っている者ほどこの制約から出られない。意識してこれらの制約条件を外して考えることが重要である。（詳細は「2-7. 原子力発電所」項参照）

（2）業界常識の見直し

業界にどっぷり浸かっていると、無意識のうちに前提条件を受け入れてしまっ、狭い範囲で物事を考えてしまっていることが多い。この傾向はどっぷり度に比例して、また会社規模などの慣性が大きいほど強くなる。例えば、いったんある基本構造が決まってしまうと、それから後は全てその構造を前提にして改善計画などが決められてしまう。特定の会社の出願特許などを時系列的に調べてみると、以上のような会社内の動きがよく見えることが多い。具体例として次の3例を紹介する。

- ① 筆者らが検討した具体例では、遊具がある。例えば遊動円木は常識では太い丸太を上から吊るす構造が一般的である。このため、地面との隙間に子供が挟まれる事故が発生したが、これを地面から支持されたリンクで動かす構造にすることによって事故を防止するとともに、リンクにしたために従来にない意外性のある動きができるようになった（詳細は「2-5. 遊動円木」項参照）。
- ② 回転ホッピングシーソーでは左右非対称なシーソーが、しかも回転するという従来の常識では有り得ない構造を採ることによって、子供に宇宙遊泳のような動きを楽しませている（詳細は「2-6. 回転ホッピングシーソー」項参照）。
- これらも遊具の常識を破って初めて出てくるアイデアである。
- ③ 原子力発電所は強固な岩盤の上に設置することが、耐震性の上からは効果が

あるという前提(あるいは常識)で全てが進んでいる。そして基準地震動や津波の高さなどの想定が変わると、その度にそれに対応する改善策を実施するのだが、この基本構造から大きくずれることはない。現状を維持しながら新事態に対応しなければならないのだからそれは当然である。そこには思い切って原子力発電所を海上に作ろうなどという乱暴な(無責任な)発想は出てきにくい。

かといって組織内部の人間が、革新的なことを考えることができないなどと言っているわけではまったくない。強調したいのは無意識のままにしていると自分が周囲の気に包まれていることにさえ気が付かないままに、その影響を受けているので、意識的に新たな視点を持つことを心がけることが重要であると言いたいのである。

次に「本質安全」構造を達成する手段を考えるときは、それを囲む技術を鳥瞰することは効果がある。以下にそれを説明する。

(3) 技術の来歴を把握

技術の来歴を把握することは、いくつかの意味がある。ひとつは開発当初の開発思想が見えることである。そして変化してきた結果である現在との差を見ることによって、その製品が進化したか、あるいは当初の必要な思想が途切れて退化したかを改めて認識できる。具体例を挙げると

- ① 大型回転ドアの場合は、当初のヨーロッパのモデルからは大型化し見栄えもよくなったが、軽量にして運動エネルギーを小さくするという安全思想は退化していた。
- ② 原子力発電所の場合では、岩着が常識になっているが、当初アメリカからきたときは、そのような思想はなく、地震の多い日本で耐震性を上げるために重要な建物や構造物は、表層地盤の1/2~1/3の揺れしかない岩盤で支持するよう進化した例である。

(4) 広く他業界・他分野を見る

他業界の技術のレベルを調査したり、その知見を生かすことは、新しく製品や構造を考えるときには重要なことである。究極は生物のしくみが参考になることもある。これにより、考える幅がうんと広くなると同時に、方向を大きく誤るようなことがなくなる。以下に2例を示す。

- ① 大型自動回転ドアを技術移転して国内向けに改造したメーカーでは、『10ジュール則』が知られておらず、結果的には運動エネルギーの極めて大きい危険なマシンを作ってしまった。
- ② 原子力発電所の「本質安全」構造を考える場合、原子力発電所がどのような所に存在しているかを知るの参考になる。例えば実績が多いのは原子力空母や原子力潜水艦である。また日本では原子力船「むつ」があるが、放射線が漏れる事故を起こし、廃船になってしまった。ソ連*2(*2;HP掲載時の修正 ロシア 修正理由;誤記)では浮体式の原子力発電所を製造中との情報もある。また日本では2000年頃に「海上立地浮体式原子力発電所」の検討を進めてきたことがあるが、それによると、当時津波はそれほど意識した様子は見られず、岸の近くの水深の浅いところで防波堤を築いてその中に収容する案などが推薦されていたが、水深の深いところでは津波の影響は小さくなるので、今一度見直してもよいのではないかと思う。

海上に原子力発電所を考えるのであれば、海洋掘削リグ業界も大いに参考になる業界である。浮体式で大きいものは面積150m×120m 深さ60mクラスのものも計画されている。タイプも浅い海から深海にまで対応できるものなど種類も多い。また、地下に原子力発電所を作るのであれば、水力発電所が参考になる。地下に大空洞を作って発電設備を設置している例は多い。

以上の他業界の技術や知見から、原子力発電所を岸から離れた水深の深い沖合や地下深くに設置することは実現可能な範囲であり、今後の原子力発電所のあり方を検討する場合の対象に入れるべきと考える。

(感想 『命に学ぶ設計者の心得』 大笹)

「この世で一番強靱な組織体って何？」と考えた場合、それは、生命ではないのかと思う。数十億年の命の系譜を有している。一体何故、命は数十億年も環境の変化に耐え、生き残ってきたのか？というのが私の素朴な疑問である。生命って決して安定な組織でないけれど、固体としては生まれ死んでいくが、命そのものはずっと生き残ってきた。予測しないような大きな環境変化が一杯あったのに、何故、数十億年も生き残って、現在筆者らがみる多様な生物体系を産みだしているのか？ こうした強靱な組織、命を貫く原理原則というか、命のコー

どってなんだろうか？ というのが私の永年の疑問だった。

ここ数年ずっと考えて本も読み勉強した結果、次の3つではないかという結論（偏見）に達した。

- ・命は自らの存在を喜ぶ
- ・命は為し得ることを為す（窮すれば変ず）
- ・命は多様性を受容する（共生）

組織の安全（存続）とか、社会の安全（存続）を考える上で、命から学ぶことは多いのではないかと思う。また、グループリーダーの有り様を見てみると、「命」を「設計者」に読み替えれば、ものを生み出す時の、設計者の心のスタンスとしても役立つのではないかと一人で思っている。

以上述べたように、「目標設定」のステップでは、変化をよく見て顕在化する「本質危険」を見極め、その解決に当たっては、高く広い視野に立って可能性を大きくした上で、実行可能でかつ高いレベルの目標を設定することが大事である。

1-4-1-2「構造立案」のステップ

「構造立案」のプロセスでは、新たに「安全の企画」というステップを入れた。これは従来の製品全体の構造立案を行うに先立って、特に「本質安全」をどのような原理により達成するかを検討する工程である。最初に「安全の企画」を入れた理由は、ここでの検討結果が製品全体の構造をまったく変えてしまう可能性があるからである。従来よくあるパターンは、2006年6月に港区で起きたエレベータ事故への対応に見ることができる。このケースでは、事故が起こった後に新たに決められた規制は、戸開走行防止用の制御系を他の制御系とは独立して新たに追加するというもので、基本構造を変更する必要はない。しかしこれでは多重になったとはいえ、制御系自体が持つ不安が残り、根本的な対策にならない。そうではなく、「本質安全」構造を目指そうとすると、筆者らが行った例でも、「大型回転ドア」の代替手段として実施した「超軽量多機能二重扉（パスマース）」と「超スムーズ二重扉」の2方式のように大型回転ドアとは構造がまったく異なるし、建物への設置方法も異なる。このような場合は、開発部門だけで検討するのではなく、ユーザと直接接している営業部門も含めて全社的な対応が必要となる。また原子力発電所の場合は、もし海上に設置するとなれば、一企業の問題ではなく、テロからの防

衛も含めて国としても考えるべき大きな問題となる。このように従来システムに対してまったく異なる「本質安全」構造であっても、最初のステップに入れて十分に検討することによって、周囲とマッチし、かつ内部構造としても無理のない製品（あるいはシステム）ができるようになる。

ただし、難しいテーマに挑戦するのであるから、結果的にできない場合もある。例えばコストである。通常の場合、一端事故を起こしてしまうと、その対策として従来構造に対して「追加の安全策」が規制として加えられるのが普通である。このような状況下で「本質安全」の新構造を実現しようとする、本来は不要となるはずの「追加の安全策」も合わせて実施することが要求される。そうするとコストは上昇する。また「本質安全」の新構造のメリットが十分生かされない場合もある（大型回転ドアの場合は事故後回転速度を大幅に落とすことが定められたが、それは「本質安全」の新構造を採用した場合もその基準は守らなければならない）。こうなるとメーカー側が新構造を採用しようとしても、メリットが生かされず、コストだけが上昇する結果になるので、採用の意欲をそがれかねない。そうなるのではなく、本方式を採用したことにより、不要になったり、妨げになる法や規制を洗い出し、行政側（受け手としては、消費者庁か？）に働きかける等の対応がメーカー側やユーザ側にも必要である。

1-4-1-3「市場・販売」のステップ

大型回転ドアでは、森ビルで起きた挟まれ事故以来、新たな規制として大型回転ドアの回転速度が大幅に抑えられた。このため大型回転ドアとスライド式自動ドアや手動ドアが併設されている出入り口では、利用客の多くが大型回転ドアを使わずに、自動ドアや手動ドアを使うという変化が生じた。空気の出入りを遮断するという本来の目的からみれば望ましくないのであるが、ユーザからみれば大型回転ドアを使うよりは、通りやすいスライド式自動ドアや手動ドアを選択する結果になった。つまり、大型回転ドアは使い勝手の悪い存在になったとも言える。

このような状況下で三和シャッター工業(株)は折れ戸方式の「本質安全」構造を開発した。万一、人が挟まれても安全な構造になったのだから、回転速度は元のように早くしても問題ないのだが、法規上は同じ扱いになるので、コスト面での不利が

残ってしまう。本来の目的から言えば、このような「本質安全」の製品が普及して欲しいのであるから、回転速度を問題のないレベルまで緩和するとか、コスト面の優遇策をとるとかの普及促進を図ることが望まれる。

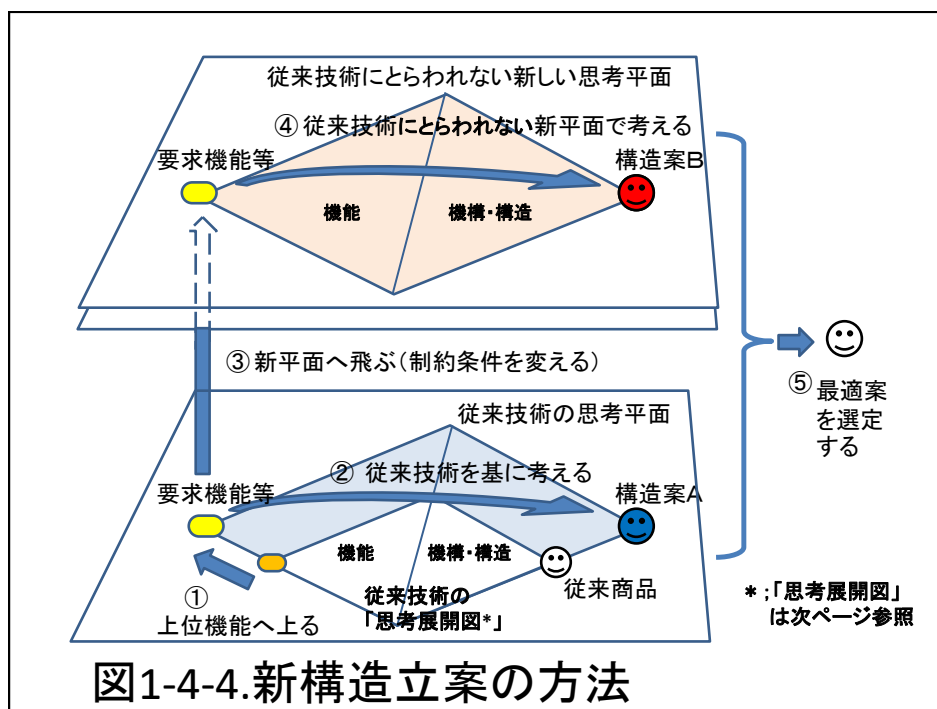
また、保険についても、より安全な商品に関する保険には、優遇策を採ることなどが、望まれる。

自動車の保険は既にそのようになっている。たとえば、より安全な車を優遇する割引制度として、エアバッグ割引・ABS（急ブレーキをかけても、衝突を回避するためのハンドル操作ができる。また制動距離も短い）割引・安全ボディ割引・横滑り防止装置割引などがあり、社会の要請にこたえた車を優遇する割引制度として、環境対策車割引などがある。

自動車以外の安全に関わる製品にも、自動車と同様、より安全な製品にはメーカーや設置者が有利になるような保険や税制の優遇策を導入できないだろうか。

1-4-2. 「新構造立案の方法」の改善

前述の危険学の視点を導入した製品開発ステップの中で焦点となるのは、「本質安全」構造を考え出す「構造立案プロセス」である。図 1-4-4. にそのプロセスの全体イメージを記載している。



ここでのポイントは従来の発想にとらわれず、新しい思考平面で考えることである。発想を転換すれば、新しい地平が見えてくる。たとえば、日本企業の多くは絶対品質の実現を目指し、壊れにくい製品を作っている。一方、韓国のサムスンでは、メンテナンスを行うスタッフが部品を満載した車でソウルなど都市部を巡回している。そして、家電製品故障の通報を受けると、ユーザの家を訪ね、1時間で基板やモータを丸ごと取り換えてしまう。日本では修理するのが当たり前と考えるが、韓国の消費者はそんなに待ってくれない。交換した基板はそのまま廃棄される。その結果、故障原因を正確に特定できず、次の製品開発にも生かせない。しかし、それはあくまでメーカー側の都合というべきである。韓国のエンドユーザが求めるのは、きちんと故障が直ることではなく、1時間で直ることである。だから、在庫の塊である巡回車を用意している。

日本企業は、これまで絶対品質・高機能を追及してきたが、製品によっては利便性やデザイン、低価格などを重視する消費者・ユーザのほうが多いかも知れない。韓国の例に見られるような、まったく新しい考え方やそれに基づく新しい構造を立案するためには「旧来の常識」ととられない自由な発想が不可欠である。

（蛇足 『暴走する品質保証部』 匿名A）

品質保証部（あるいは品質管理部）という組織は、本当に必要なのだろうか？ 少なくとも匿名Aは、そのように考えてはいない。むしろ不要だと考えている。ここでは、「暴走する品質保証部」について述べる。

全社レベルや事業部門レベルでの品質保証部は不要である、というのが匿名Aの経験にもとづく考えである。製品の品質レベルは、設計開発部門、製造部門などがそれぞれの持ち場で自分の責任を全うすれば保たれるものであり、ある意味部外者である品質保証部などが、ちゃちゃを入れることができるようなものではないはずである。逆に、品質保証部などから横やりを入れられるということは、現場の各部門がその責を十分に果たしていないということではないか？

そうはいつでも人によっては、「部外者の方が別視点から眺めるため、問題点を発見しやすい（岡目八目）」、などと言うかもしれない。それでは聞く。日本棋院の八段クラスの対局を部外者がながめて、岡目八目などと言えるのだろうか？ 製品の設計、開発、製造における詳細な内部構造を理解することなく、またそういった知識や経験のない品質管理の専門家だという人が、問題点を指摘できるとは

思わない、というのが匿名 A の考えである。八段クラスの対局において岡目八目と言えるのは、プロの高段者の場合だけであろう。

昨今の大手企業の品質保証部の活動状況を見てみると、大いに疑問を抱かざるを得ない。自分たちの存在価値を示すためなのかどうか、いろいろとろくでもないような（失礼！）品質管理マニュアルや規則を作り（こういった文書を作成することが目的化している場合もある）、それに違反した行為がないかどうか判別することを、自分たちの拠り所としているようなところが見受けられる。これを匿名 A は「品質保証部の暴走」と呼んでいる。自社の品質保証部に振り回されているようなことはないのか？また会社の中で品質保証部が特別視されるあまり、彼らの行動に対して、誰も疑問を投げかけることができないような雰囲気醸し出されているようなことはないのか。開発部門（商品開発を含む）、製造部門だけでなく、お客様の視点からもかけ離れたところで暴走しているようなことはないのか？お客様が何を（あるいはどのレベルを）求めているかに関係なく（上記韓国での例を参照）、品質保証部の都合で（自己満足のために）各種の規則やマニュアルを作成し、それを振りかざしているだけではないか、という言い過ぎだろうか？品質保証部の存在について、今一度問い直してもらいたい。また現場各部門は、品質保証部の世話にならなくてもよいようなレベルまで、自分自身を高めていってもらいたい。日本には、世界に誇れる町工場がある。こういった町工場に、はたして品質保証部などというものがあるのだろうか？彼らは、品質保証部などなくても、優れた品質の製品（彼らから見れば製品）を提供しているのではないか？

（反論 『匿名 A さんに反論』 図子）

品質保証部門の最大の役割を一言で言うと、全社レベルの視点で開発部門及び製造部門における製品品質の作り込みプロセスの検証・管理だと思う。開発部門・製造部門がその会社のルールに従って業務を行っているか。後に検証ができるようにその記録を残しているか。ルールが現実に合わなくなったときに改訂しているか、を検証するものである。決して、岡目八目でものを言うのではなく、経験豊富な熟練者のノウハウにちゃちゃを入れることでもない。各部門で真面目に業務していても起こる「うっかり」、納期短縮のために行う良かれと勘違いの「ルール無視」・・・等を排除することである。暴走する品質保証部は必要ないことには同感であるが、お客様に安全を含む良質な製品を提供するためには品質保証部門

は必要だと思う。警察や司法が必要なように。

(反論 『「反論」に対する反論』 匿名A)

上記にある「全社レベルの視点で開発部門及び製造部門における製品品質の作り込みプロセスの検証・管理」こそ、不要だというのが匿名Aの考えである。匿名Aは、品質保証（品質管理）そのものが不要だと言っているわけではない。全社レベル、あるいは事業部門レベルでの品質保証部門は不要だと言っているのである。

部門、部門で異なる製品を企画、開発、製造しており、対象となるお客様も異なる。それなのに、なぜ「全社レベルの視点」が必要なのか、理解できない。このような画一的な品質保証思想によれば、おそらく最も高いレベルが全社標準となるのではないかと。製品の品質レベルは、本来その価格と、価格に対するお客様の期待度によって決まるものではないだろうか？つまり製品ごと、対象となる市場ごとに、異なる品質レベルが目標として設定されるべきではないだろうか。このように考えると、「全社レベルの視点」では到底管理しきれぬものではないし、管理してはいけない、というのが匿名Aの考えである。

市場調査、商品企画の段階で適切な品質レベルを設定し、開発部門、製造部門がそれに従って品質管理を徹底するというやり方がよいのではないだろうか？「全社レベルの視点」といった段階で、市場やお客様の求めるレベルがどこかに行ってしまう。また商品企画や開発、製造について深い造詣と知識、経験を有していない「全社レベルの視点」の品質保証部は、「これでよし」としないで、「もっと高いレベル」（高ければ問題が起きないという発想）を要求しがちである。当該部門にとって、ほとんど意味のない社内ルールまで守らなければならなくなり、商品企画や製品開発、製造部門からみれば、「窮屈この上ない」、ということになる。国内大手企業において、全社レベルの品質保証部が、世界市場に対する適切な商品企画、製品開発を阻んでいるという言い過ぎだろうか？

(意見 『別の視点で見た品質保証部』 匿名B)

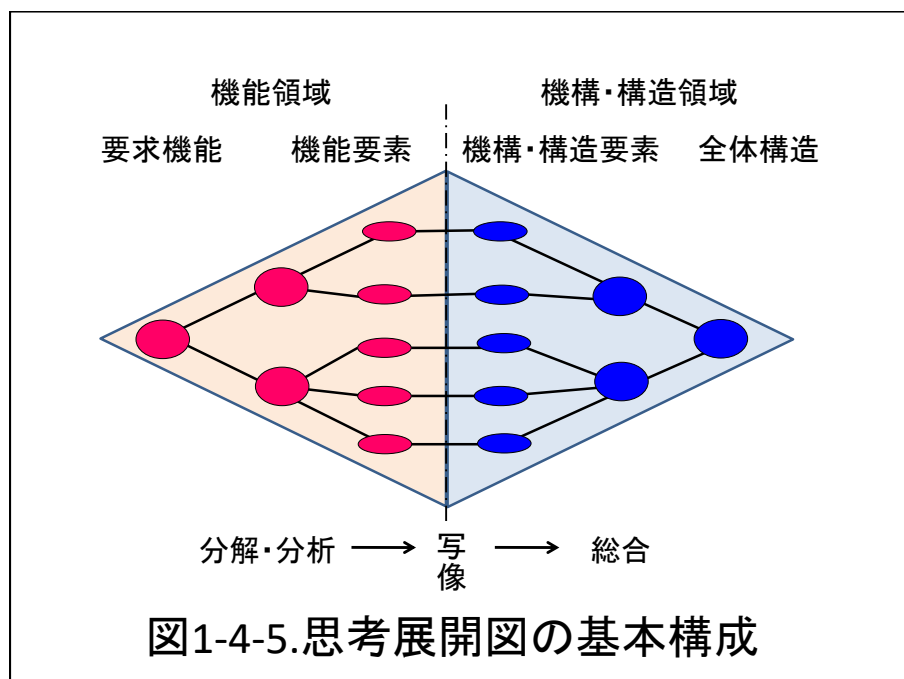
品質保証部という組織のミッションが変化してきたことを感じる。かつて品質保証に関わる人たちは、そもそも自分たちの製品の構造や機能を熟知しており、受け入れ検査や出荷検査時に気になることがあると、例え国外であろうと夜昼問

わず設計や技術に確認してきた。ところが、最近の品質保証は机上の書類監査に主眼が置かれ、実物がおろそかにされる傾向にあると感じている。

これは ISO に代表される書類管理規準を最上位とする考え方に起因していると思う。本来は技術的規格規準の中身（精神）が大事であるのに、それよりも形式が優先される風潮を生んでいる。そもそも、技術とは紙に書ききれるものではなく、共通の知識・経験・思考形態が必要である。品質保証部に限らず日本人の品質向上が必要と思う。

それでは、これから図 1-4-4. に沿って、新構造を立案する方法を、順を追って説明する。

説明に入る前に図中に頻繁に出てくるひし形について説明する。図 1-4-5. を参照いただきたい。これは製品を「機能」と「機構・構造」を用いて階層的に表現したもので、「思考展開図」と称している。



この平面で表現した思考展開図では、左端に実現しようとする製品の要求機能が定められる。そして右に進行するが、はじめの要求機能が階層的に分解・分析されて機能要素になる。ここで一つ一つの機能要素を実現する手段として機構要素が選択・決定される（「写像される」）。さらに個々の機構要素に大きさや材質など

の具体的属性が付与され、階層的に全体が統合され一つの製品の全体構造が出来上がる。この全体の外形がひし形になっているので、製品の思考展開図を簡易的にひし形で表した。

この平面上に示した思考展開図を描けば、設計者は次のことが可能になる。

- ・自分の考えの中身がどのような構成になっているかをはっきりと自覚できる。
- ・自分の設計を客観的に見ることができるようになる。
- ・自分の考えの中で、抜けているもの、不足しているものが明確に把握できるようになる。

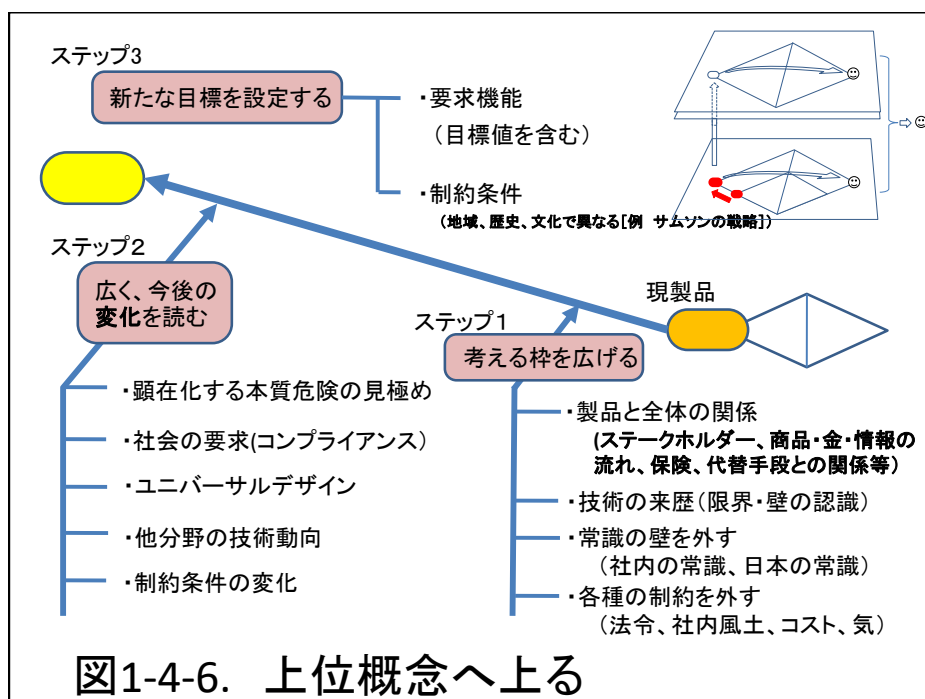
一方、設計者が頭の中に思い描いていることが明瞭に表出されるため、第三者にも設計者が何を考えているのかが理解できるようになる。また、出来上がった設計の内容を第三者に伝えたいとき、別の文化圏の人と共同で研究や開発を行うとき、昔の設計図面を理解する必要が生じたときなどにも、設計全体像の把握とその評価を正確に行うことができるようになる。（詳細は「技術の創造と設計」畑村洋太郎著 岩波書店 参照）

実際の思考展開図の作り方は左から右へ順に流れるのではなく、往復しながらできあがるのであるが、その詳細は後述の「1-4-3. 独創性と思考展開図」の項で詳細に説明するので、そちらを参照していただきたい。

ここではひし形は一つの製品の「機能」と「機構・構造」を階層的に表現したもものとして理解すればよい。

新構造立案の方法は、①上位機能へ上る、②従来技術をもとに考える、③新平面へ飛ぶ、④従来技術にとらわれず新平面で考える、⑤最適案を選定する、という5段階に分解できるので、順を追って説明する。

1-4-2-1. 「上位概念へ上る」(図 1-4-4. & 6. 参照)



構造立案プロセスの最初のステップである「上位概念へ上る」とは、製品に対する要求をより根源的なレベルに持っていくことである。例えば、大型回転ドアの場合で説明すると、「人は通すが、空気は通さない」というのが上位の機能ということになる。このように上位の機能に上ることで、回転ドアの構造だけでなく、二重ドア方式も候補案に入ってくる。(詳細は「2-3. 大型回転ドア」および「2-4. 回転ドアに替わる新型ドア」項参照)

(補足 『「上位概念に上る」の上位概念とは』 近石)

上記では、上位概念を、より上位の「機能」として捉えているが、もっと効果があるのは「上位概念へ上る」のさらに根源的なレベルとして、「実現したいこと」まで上げることである。ここまで上げると従来製品の「機能」とも縁が切れるので、それと離れたまったく新しい概念の製品像へつながる可能性がでてくる(後述の図 1-4-11 参照)。

たとえば、原子力発電所の例では、「想定外の大地震でも、本来の役割である電力供給が維持できる原発」とした。これは「機能」を表現したものではなく、さらに上位の「実現したいこと」を表現したものである。もしこの要求に対して解

があるなら、それは従来とはまったく異なる新しい概念の製品あるいはシステムになるはずである。（詳細は「2-7. 原子力発電所」項参照）

この議論の詳細は、後述の「1-5-3. 独創性を育む」項を参照のこと

上位概念へ上って「新たな目標を設定する」ためには、その前段階として、次の2つのステップが重要である。

- (1) 製品と全体（ステークホルダー＝利害関係者、商品・金・情報の流れ、代替手段との関係など）を考え、技術の来歴を調査し、常識の壁・各種の制約を外すことなど、考える枠を広げることにより、空間的・歴史的な全体像の中での製品の位置づけを見つめることができ、進むべき方向を誤ることが少なくなる。
- (2) 顕在化する本質危険の見極めや社会の要求（コンプライアンス）、環境への対応、ユニバーサルデザイン（社会的弱者に対する配慮）、他分野の技術動向、制約条件などの変化等を踏まえて、広く今後の変化を読む。

この詳細は前述の「目標設定」のステップで詳述しているので、そこを参照のこと。ただし前項では、「本質危険」・「本質安全」を中心に展開しているが、本項ではもう少し一般論化している。（例えば、「本質危険」は変化のひとつとして扱っている）

（補足 『上位概念とトップダウン式思考』 滑）

何か新たな開発に取り組もうとした際、上位概念から考えを始めることは、非常に重要なことである。これは基本に立ち返るということにもつながる。以前から感じていたことではあるが、日本人はともこのような上位概念から考えを進めて行く（トップダウン方式でのアプローチやシステムの思考）というのが苦手なようである。一つの大きな装置やシステムを考える場合でも、コンポーネントやサブシステムレベルから思考を開始するような人が多いように思えてならない。これは、物事を延長線上で考えるというところから来ているのではないだろうか？本来のあるべき姿から思考を開始するようにすればよいのであるが、それがなかなかできない状況を見ていると、もどかしくて仕方がない。こういった点は、日本の教育（学校だけでなく、企業内も含め）にも問題があるからではないかと思っている。あるべき姿、最上位の概念から考えを開始するといったようなアプローチが、学校、企業において、教えられていないからであろう。言い換えれば、

教えられる人がほとんどいないということでもある。

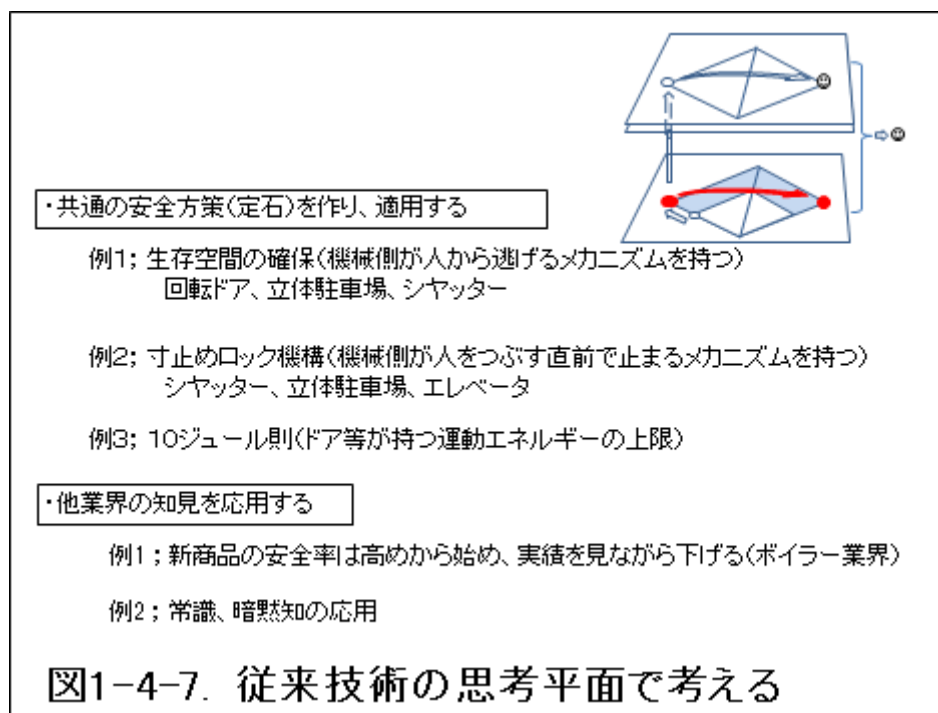
日本の大企業には、本当の意味でのプロフェッショナルが育っていないということもあるだろう。金融機関が自社のシステムを更新する場合、要求仕様を作成することができず、システム会社のエンジニアが入り込んで現状システムを解析し、要件定義をしているという報道があったが、これなどひどい話である。こういったやり方をしていれば、もめることは最初から分かっている。あるべき姿、目標到達地点を設定せず（何がほしいのか、何をしたいのかを明確にせず）に作業を開始するようなものだからである。最上位の概念から思考を開始し、下まで降りて行ける本当の意味でのプロフェッショナルを育てることが、国内においては急務であると考え。その点、小規模の企業では、まだプロフェッショナルがいると思われる。そこが救いである。小規模の企業では、責任と結果が明確に見えるからではないだろうか？また扱っているものが、比較的小さい、あるいは複雑でないという面もあるだろう。

（よもやま話 『日本の開発の問題点』 滑）

筆者が携わっている通信業界で見ると、独特の製品や優れた技術が生まれているところといえば、現時点では、米国のシリコンバレーとイスラエルが双璧であろう。いずれからも新たな技術にもとづく製品が出てきている。こういったことは多くの人知っていることなので、ここではこれ以上、シリコンバレーとイスラエルについては触れないことにする。

一方、実用的な製品という点でみると、独自の技術というわけではないが、ヨーロッパの小国からおもしろい製品が出てきている。ハードウェアの作りとしては十分でない点もあるが、いずれも問題を解決してくれるという点では、りっぱな製品である。なぜこのようなものが日本で出てこないのか、出てくるようになるためにはどうすればよいのか、それを考える必要があるのではないか？彼らは、世の中にある部品や技術をもとに、困っている人に解決策となる製品（ソリューション）を提示できている。困っていることを解決するにはどうすればよいか、というところから考えが始まっているのであろう。うらやましい限りである。

1-4-2-2. 「従来技術の思考平面で構造案を考える」（図 1-4-4. & 7. 参照）



第2ステップは、要求機能や制約条件を満たすような解(図1-4-4.の構造案A)を、従来技術をもとに導き出すステップとなる。似たようなメカニズムのものであれば、共通の安全方策を作って適用する方法や他業界の知見を応用する方法などがある。この場合ベースとなる機械の基本構造は、安全対策に関係する部分以外は従来と大きくは変える必要はない。

共通の安全方策を作る考え方としては、たとえば、次のようなものがある。

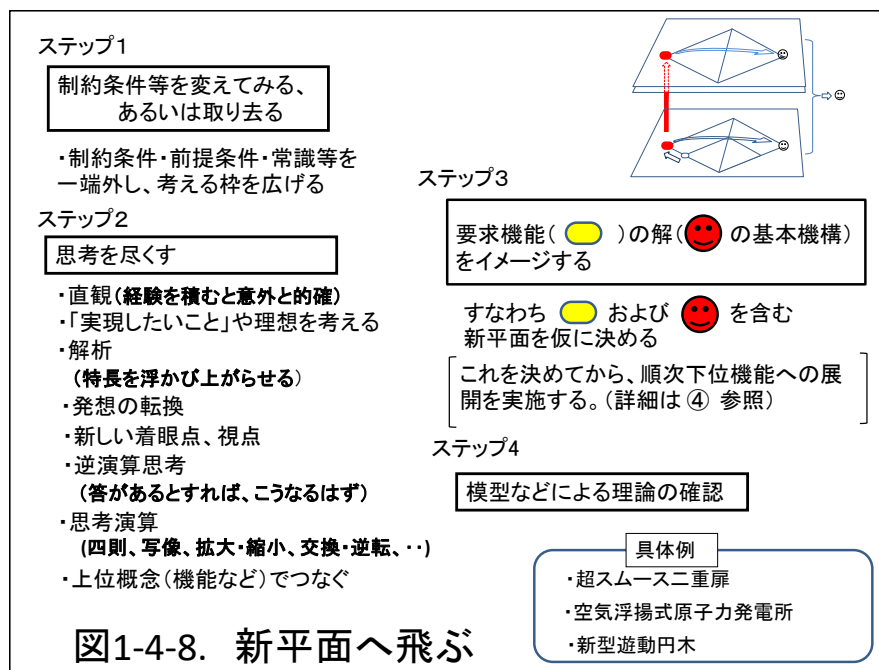
- 人間の生存空間を確保する(「2-6. 回転ホッピングシーソー」項参照, 思考展開図に「本質安全」を織り込んだ具体例としては図2-6-5. 中の(安全の企画)参照)。
- 人間をつぶさない程度の力に抑える。または運動エネルギーを10ジュール以下にする(「2-4-1. 超軽量多機能二重扉(パスマース)」項参照)。
- 機械が人に触れると機械側が寸前で止まる(「機械式駐車場2-8。」項参照)。
- 人間とぶつかったときに機械のほうが壊れるようにする。または機械が人から逃げる(「2-3. 大型回転ドア」項参照)。

といった方法が考えられる。機械にこれらいずれかの仕組みを組み込むことができれば、事故で大ケガを負ったり、死亡したりすることは避けられる。

以上は従来構造の製品に「本質安全」構造を付加する方法について述べたが、以下に述べることは、安全に限定せず、一般の商品を開発する場合の例である。それ

は、サムスンが先行しているメーカーにキャッチアップする方法で、上記の「思考展開図」的考え方を有効に使っている。まず先行するメーカーの製品を機能にさかのぼって分析する。これをリバースエンジニアリングいっているが、これにより、従来製品の思考展開図が明らかになる。そこから新たに求められる機能を定め、従来製品とは異なる制約条件をクリアする新しい機構、仕組みを持つ製品を設計・開発していく（フォワードエンジニアリングといい、新たに思考展開図を作り直すことに相当する）プロセスをいう。このように、リバースエンジニアリングによって先行メーカーの開発者の意図まで理解した上で、フォワードエンジニアリングによって機能の足し算や引き算をすることで、別の消費者、市場向けや、安全な製品を自在に作り変えることができる。（詳細は「危機の経営」畑村洋太郎・吉川良三著 講談社 参照）

1-4-2-3. 「新平面へ飛ぶ」（図 1-4-4. & 8. 参照）



第2ステップで導き出した「構造案A（図 1-4-4.）」は従来技術に基づくものだけに、制御安全は達成したとしても、「本質安全」構造という解がどうしても見つからない場合もある。また見つかったとしても、それが最適解である保障はない。たとえば、競合他社がまったく発想を変えた製品を市場に投入してくる可能性は

ないとは言えない。そこで、第3ステップ「新平面へ飛ぶ」では、考える幅を狭めていた各種の制約条件を変えてみる。あるいは、制約条件を取り去った上で、逆演算、思考演算、発想の転換などの方法を使って思索をこらし、要求機能の別解（構造案）をイメージする。

（補足 『逆演算思考と順演算思考』 近石）

逆演算思考とは、すべてうまく機能するという前提に立つ考え方である順演算思考に対し、うまくいかなかった場合から遡って考える方法である。たとえば、工場で防火対策を考えるとしよう。「火事を起こさないためには、どうしたらいいか」から始めるのが順演算思考、「火事が起こってしまった。何がマズかったのか」から考え始めるのが逆演算思考である。逆演算思考の例としては、FTA（Fault Tree Analysis）がよく知られているが、逆演算で考えると、消防設備がうまく働かなかった場合、通報がうまくできなかった場合など、さまざまなケースを想定して検討できるから、モレ、ヌケを防ぐことができる。順演算だけで考えると、想定外の問題が起きたときの的確に対処できず、いたずらに事態を悪化させることになりかねない。

私は、新しい構造を考えるときも、この逆演算思考が有効であると考えている。方法は、「もし解があるとすれば、どのような条件が満たされ、どのような状況になっているのだろう」などと遡って推定するのである。こうすることによって、解になる道筋を的確に、かつ効率的に見つけることができる。

順演算思考の場合は、手前側からあらゆる方向へ考えを巡らし、その中から解に至る道筋を選定するので、場合の数は多くなる。また解のレベルは現実的なレベルである。一方、逆演算思考の場合は、解から逆方向に手前側に道筋を作るので、場合の数はほんの数本と少なくなることが多い。ただし、求める解が奇抜すぎたり、レベルが高すぎると、手前まで道が続かない（すなわち、解がない）ことも多くなる。

このような逆演算思考が有効なのは、「実現したいこと」や「理想」のようにまともに考えると難しいテーマに取り組むときに有効なことが多い。

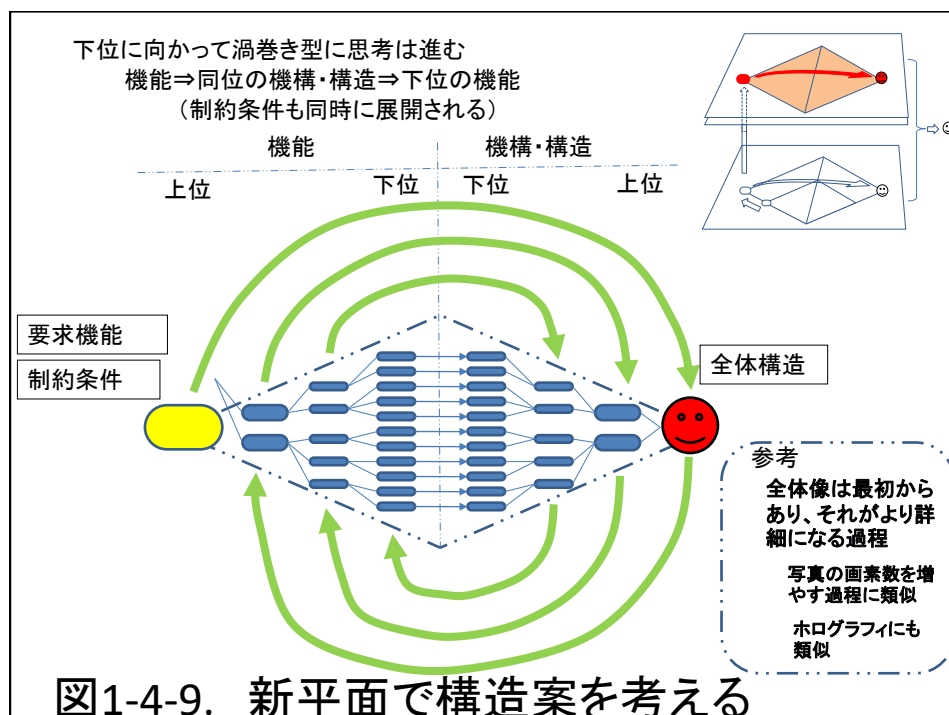
ここでは、2-7. 項原子力の「沖合浮上型原子力発電所」や2-4-2. 項「超スムーズ二重扉」がこの考え方をしているので、参照願いたい。

(補足 『集団登下校と交通事故』 滑)

ここ最近、登校時に痛ましい交通事故が連続して発生している。集団で登校しているところに自動車が突っ込み、多くの犠牲者、負傷者が出たことが報道されている。もともと集団登下校というのは、連れ去りや誘拐から子供たちを守るために始まったものであろう。暴走する自動車の前では、これが仇となっている。「連れ去り」といった観点からみれば、集団での行動はプラスに働くが、交通事故という観点からみると、集団での行動はマイナスに働く。ある一つの事象でも、見る側面によってはまったく逆効果になることがあるため、注意する必要がある。考える枠を取り払い、発想の転換をし（新平面に飛び）、順方向だけでなく、逆方向からも演算を行うことにより、事故や危険を未然に防ぐことが重要である。

1-4-2-4. 「新平面で構造案を考える」(図 1-4-4. & 9. 参照)

- ・ 思考領域を機能領域と機構・構造領域に分ける



次のステップ「新平面で構造案を考える」は、構造立案プロセスの核になる部分である。図 1-4-5. は思考展開図による製品開発を示したもので、機能領域と機構・構造領域の2つの思考領域に分けることができる。機能領域は、欲しい機能を考える、思考領域で形のないものを考える、抽象の世界である。機構・構造は機能を実

現する手段としての具体的な機構を考え、機構を組み合わせて構造化し、実物にしていく思考領域で、具象の世界である。

機能領域では要求機能を分析し、機能構成に落とし込み、さらに、それを分解して機能要素にする。機構・構造領域では、まず機能要素を実現する手段として機構要素を選択・決定する。1つの機能要素に対し、5～10個くらいの機構要素が考えられ、その中から、最終的に1つの機構要素を選び出す。次に機構要素の大きさ、重さ、材質などを決めて構造要素に展開、それらの構造要素を統合し、1つの製品として全体構造をまとめていく。

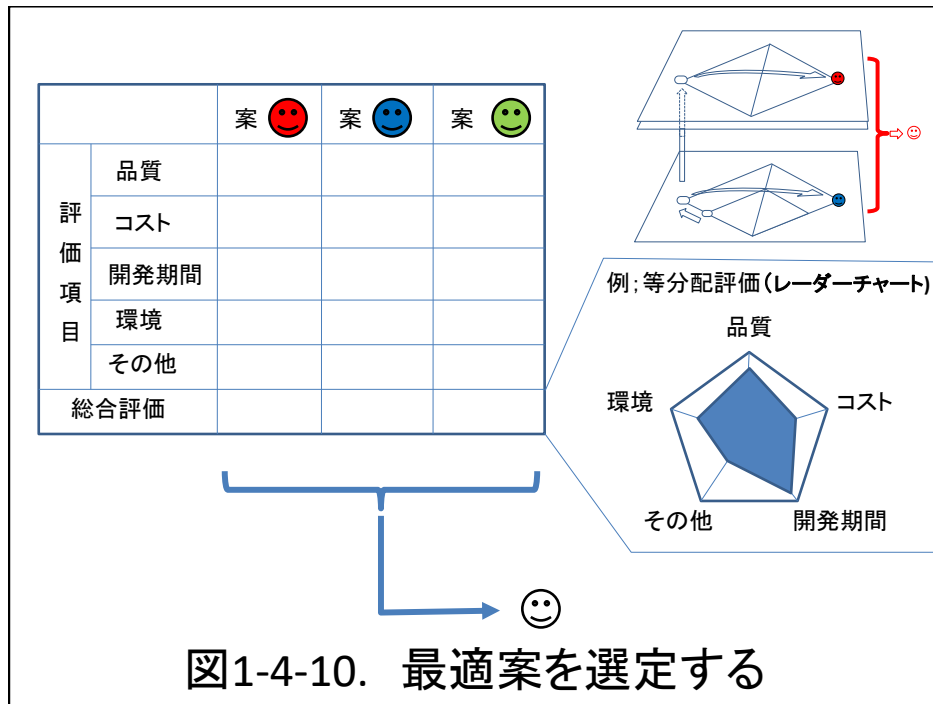
全体の流れとしては、左から右へと進んでいくように見えるが、実際は図 1-4-9.のように、上位の機能から基本となる上位の機構・構造が決まり、次に下位の機能が決定するというように、渦巻状に下位に展開されることが多い。

思考展開図を描くことで開発者・設計者は自分の考えを客観的に見るができるようになり、抜けているものや不足しているもの、外から導入すべきものなどを明確に把握することができる。また、開発者・設計者がどんなことを考えているのか、明瞭に表されるから、第三者にとっても理解しやすくなる。（思考展開図の具体例としては後述の図 2-6-5. 参照）

（蛇足 『馬車と蒸気機関』 滑）

馬車が一般的であったところに、馬車（ワゴン）の改良に時間を使っていた人がいた。一方、ワゴンではなく、そのワゴンを引っ張る馬に替わる動力源の開発に知恵を絞っていた人がいた。

1-4-2-5. 「最適案を選定する」（図 1-4-10. 参照）



・ 評価項目のウェイトづけ

第 4 ステップが終わった段階で、第 2 ステップで得られた構造案 A と第 4 ステップで得られた構造案 B の最低 2 つの構造案が存在している。第 5 ステップは、これら複数の構造案の中から、最適案を選定するステップである。複数の候補案（選択肢・代替案）から、採用すべき 1 つを選択するということであるから、一般的な意志決定の手法が使える。

最初に、評価項目を決定しなければならない。ここでは品質、コスト、開発期間、環境への負荷などの項目を挙げたが、業種・企業によっては法的規制や特許（自社保有か、他社保有かなど）、製品の市場規模や将来性、コンプライアンス、材料、部品の調達やすさ、競合製品の品質・機能・価格などの項目が重視されるかもしれない。

次に評価項目のウェイトづけをする。ウェイトづけとは、もっとも重要な項目を、たとえば「5」として、それを基準に他の項目に 1 から 5 までの数字を割り振る作業である。コストを 5 とした場合、品質を 4、開発期間を 2、環境を 3、その他を 1 というように、値を与えていく。

続いて、それぞれの構造案を採点する。5 段階で評価するとした構造案 A が品質 3 (×4)、コスト 4 (×5)、開発期間 1 (×2)、環境 3 (×1) だったとすると、合計

点は 46 点となる。同様にして行った構造案 B の合計点が 42 点，構造案 C の合計点が 41 点であれば，構造案 A を採用することになる。

1-4-3. 独創性を発揮する

本グループ活動の中では，本質安全構造を立案するとき，従来にないまったく新しい機能をもった構造を生み出す必要が生じたことが何回もあった。そしてその各ケースにおいて，最適かどうかは不明だが，なんとか解を見出すことができた。ここではその方法について，「ラッキーにも，たまたま解を思いついた」という捉え方ではなく，できるだけ普遍的で応用の利くものとして形にしてみようと思う。

（蛇足 『設計解は必ず存在する？』 近石）

「要求機能と制約条件が明確になれば，それを満足する設計解は必ず存在する。これを証明することはできないが，世の中の多くの事例から判断できる「公理」である」というのが畑村洋太郎説であるのだが，果たしてそうだろうか。要求機能が高すぎたり，制約条件が厳しすぎると解が存在しない場合もありそうだが！！ しかし，まずは楽観的に「解はあるはず」と信じてひたすらトライする姿勢が重要であることは確かであり，そうすれば，そうでない場合と比べて，はるかに解を見つけ易いのも私の経験から言えることである。畑村格言もそのための「鯛の頭（失礼！！）」になり得ることは確かだろう。

（補足 『ステークホルダーからの見方』 張田）

新しい設計は，その分野の専門家には，過去の経験が無意識に作用するので意外と困難である。むしろ，外部の知恵の活用が有効と思われる。筆者ら「設計の思考過程」グループも，様々なバックグラウンドを持つメンバーによって構成されていたので，テーマの製品・システムに関係する「ステークホルダー」という広い見方から検討することが出来た。

1-4-3-1. 独創性と思考展開図

新製品に限らず，一般的な課題を解決するために，思考展開図を使うと有効なことは確かだが，ここでは新製品開発に限定して新構造を生み出す流れを考えてみる。

思考展開図は前述（1-4-2. 項および図 1-4-5. 参照）したように，働きを表す機

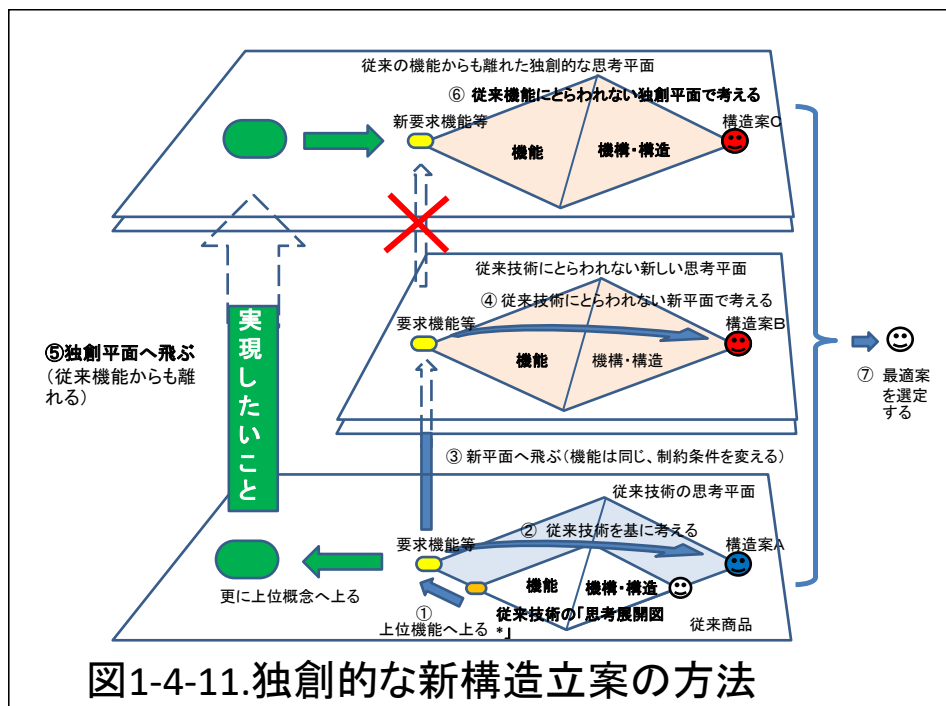
能とその具現体である機構・構造から成り立っているが、今回のテーマのようにまったく新しいものを考え出す上では、これだけでは十分説明できないような気がしていた。例えば、大型回転ドアに替わる新構造のドアを考える場合、大型回転ドアと同じ機能を求めると、「人は通すが、空気は通さない」ということで、二重扉にまでは比較的簡単に行き着く。しかしここで満足せず、さらに使いやすさを追い求めて行った結果、今回提案の「超スムーズ二重扉」に行き着いた。このステップがまったく新しい製品を作り出すためには重要なステップであると思うので、少し詳しく見てみよう。

(コメント 『CADの功罪』 図子)

多くの企業にとって開発納期短縮は重要な課題であり、開発担当者は開発業務効率の向上を課せられている。また、多くの開発テーマが新規商品ではなく、既存商品の改良またはラインナップ追加であると思われる。作図もCADを使用して、改良開発であれば、改良部位以外は既存図面からコピー&ペースト。ほんの数秒の作業である。

一昔前であれば、ドラフターに一本の線を書き入れることから始まり、既存部位も自分で描きながら思いを馳せることができた。今の開発担当者にはその機会も時間もない。詳細を知らない既設の木造部分に図面上でコンクリート造を追加するようなもので、何か恐ろしいと感じる。

開発者だけが悪いわけではないが、たとえ、改良開発であっても、改良部位の要求事項に加えて、システム全体の要求事項を再考し、上位概念を考えることは必要であり、また、決して無駄な時間ではないと考える。自分自身のために。



「超スムーズ二重扉」のケースでは、まず今までの先入観は全て捨てて、理想的なものは何だろうと空想することから始まった。例えば、テレビを見ていると、人が壁からするりと通り抜けるような映像がよくでてくる。壁はひとに纏わりつくように密着しているので空気は通れそうもないが、通過する人は抵抗なく飛び出してくる。こんなものいいなと思っているうちに、昔どこかの空港で手荷物カートを押しながら自動ドアを通ったことを思い出した。それは観音開きのドアで、近づく直前でタイミングよく開いて、止まることなくスムーズに通れる。実に気持ちがいい。こんなのが2m間隔で10mほど並んでいてその中を通ると前が次々と開いて行って、後ろは順に閉まっていく、こんなイメージに近いかな、などと思っていた。そのうちに以上の2つのイメージが繋がったのが、「人が近づく直前でスムーズに開き、通り過ぎた直後にすばやく閉じるドア」というものである。これは思考展開図に入る前の段階で願望または理想とも言えるものである。これがないと製品の現状の「機能」や「機構・構造」から離れて、大幅な向上は望めない。これを「実現したいこと」と表現することにした。(図1-4-11参照)

ここで改めて思考展開図を定義しなおすと、

- 実現したいこと；現状の「機能」や「機構・構造」にとられず、実現したいことをユーザ言葉で表現する。究極の理想を述べてもよい。

- 機能；そのものが持つ働き（形は無い）
- 機構；機能を実現するための達成手段（ただし，からくり，原理構造のレベル）
- 構造；機構に形状，大きさ，重さ，材質などの属性を与え，定量化したものであることになる。

（注記 『実現したいこと』 近石）

小生が所属する「実際の設計研究会」では思考展開図を提唱し，さまざまな具体例を挙げて説明しているが，そこでは「機能」・「機構」・「構造」を基本要素としている。通常の開発の場合はこれで十分説明できる。しかし，今回まったく新しい「本質安全」を考えるに当たって，これだけだと不十分であることが分かってきた。例えば，原子力発電所の項で検討した「想定外の大地震でも原子力発電所の社会的役割である電力供給が維持できる」というのが構想を練る出発点であるが，これは上記のどれにも該当しない。それも当然で，これはユーザにとっての願望なり理想をいっているのであって，具体的「機能」や「機構・構造」は何も表していない。そしてこの理想を実現する方法として，例えば発電所全体を海上に浮かせるとか，空気に浮かせる等が考えられるが，その段階で初めて「機能」なり「機構・構造」が出てくるのである。新しいものを考えるときは，ここまで上位に遡って初めて斬新なアイデアがでてくるのではないだろうか。理想状態を考えるというのは，この例以外にも「回転ドアに代替する新型二重ドア」の項にも出てくるので参照願いたい。ここでは，これらを「実現したいこと」と表現した。

（補足 『実現したいことは何のために』 中山）

「新商品のコンセプトは，誰にでも理解できる言葉で，暗唱できるくらいに短い文章で語れなければならない」と，かつて上司から教わった。そうでなければ，顧客の心に響かないからである。これはまさにグループ長が繰り返し述べている「実現したいこと」に相当する。そして，大事なことは，その「実現したいこと」は「何のため」なのか，それを実現することで，社会や人々の生活がどのように善くなるのか，さらに上位概念の公の視点で語れることである。それが技術者の心の支えになり，何としても実現したいという思いが新たな発想を

生む。私達は善き社会を創るために仕事をしているのだから。

(蛇足 『機器設計室と「実現したいこと」』 近石)

「実現したいこと」と「機能」および「機構・構造」のことを考えていたら、昔建設機械メーカーの機器設計室にいたころを思い出した。機器設計室とは車両などのある特定の装置を専門に設計する部門である。建設機械で言えば、エンジン、パワーライン、足回り、作業装置などがこれに相当する。機器設計室の役割は大きくは二つある。

一つは個々のプロジェクトに参加してその企画した要求に応じて担当装置を設計することである。思考展開図で言えば、上位の機能や機構・構造から展開された要求機能や制約条件を満足する装置を設計することになる。

二つ目は、長期的視野で将来のあるべき機器の準備をしておくことである。そして使えそうになった新技術は新しく始まるプロジェクトにも伝えてその企画に織り込んでもらう。この新技術の中には、装置全体の機構レベルのテーマもあるだろうし、もっと下位の構成要素レベルのテーマもある。さらには材料や熱処理といったレベルのテーマもある。すなわち階層的なのである。この二つ目の役割は、「実現したいこと」をやることと似ていないだろうか。独創的な構造を考えるためには、従来の機能と機構・構造の流れ以外に、理想からくる流れ(=「実現したいこと」)を加える必要があるように思える。そして理想を求める動きは思考展開図の最上位だけにあるのではなく、このように階層性をもって各レベルで存在するのである。

最初に設計者が意識しなければならないことは、「実現したいこと」である。着手時、「実現したいこと」は、予め与えられていなくとも、自らそこまで戻って再スタートすると斬新な考えが生まれやすい。次に設計者はこれを元に製品の果たすべき「要求機能」、またはこれを実現可能なものとする「基本機構」を決める必要がある。この場合通常は「要求機能」が決まった後に「基本機構」が決まることが多いが、逆の場合もあり得る。いずれにしろ二つがセットで最上位が決まる。思考展開図は完成したのを見ると、要求機能から始まって、次第に下位の機能に展開していき、その後に機構・構造側に写像されるように見えるが、それはあくまで完成した暁にそのように整理された形になるのであって、実際の作業はそれとは

異なる。この考えた過程を、事例に即して説明しよう。

大型回転ドアの代替品である「超スムーズ二重扉」の場合、「実現したいこと」として「人が近づく直前でスムーズに開き、通り過ぎた直後にすばやく閉じるドア」とした。次にこれを実現するための最上位の「要求機能」として、「入る時は前方に開き、通り過ぎると横から閉じる」とした。さらにこれを実現する基本機構として、図 2-4-3. のように「ガイドレールに沿って戸板の両端がぐるぐる廻る機構」を考えた。これで最上位の「実現したいこと」・「要求機能」・「基本機構」が決まったことになる（しかしこの段階では、細部まで展開できて、めでたく解のひとつになるという保障はない。その成否はこれから以降の検討次第である）。次にこの戸板が動くようになるためには、駆動方式をどうするか決める必要がある。そこで、実施例で詳述したように、図 2-4-5. のようなアーム往復運動方式を考えた。しかし課題として往復運動とラチェット機構が気になったので、さらに駆動方式の「実現したいこと」として、「滑らかでラチェットのない機構」を検討した結果、トルクを一定方向に付与する案に思い至った（図 2-4-11. 参照）。これだと「実現したいこと」を満足できる。その機能は

- ・ ドアを中心Mを、Oを中心とし、半径R/2の円運動をさせる。
- ・ 駆動方式は、開閉時ドアに一定方向のトルクを与え続ける。

となる。

このように見ると、「実現したいこと」は最上位の機能の上位概念としてあるだけでなく、途中の機能に対しても存在する。このことから、展開できるのは「機能」や「機構・構造」だけでなく、「実現したいこと」も同様に展開できるのではないかと思える。

他の例で説明すると、自動車の駆動は、従来はガソリンエンジン等の内燃機関が主流であったが、その特性上、トルクの欲しい低速時はトルクが十分に得られない。このため不本意ながら変速機構やトルクコンバータを必要とした。また車両が停止時は、エンジンを止めると、発車時に再びエンジンをかける必要がある。止めずにアイドリングを続けていた。さらに車内にパワーライン用の大きなスペースを必要とした。しかし、本来はパワーラインの「実現したいこと」は

- ・ 低速からの加速時に大きなトルクがだせる。
- ・ 停止時は余分なアイドリングはいらない。
- ・ 途中のパワーラインはいらない。タイヤを直接駆動できればよい。

- ・排気を出さない.
- ・音を出さない.

等であろうか. 現在これは電気自動車で実現しつつある. この例のように, 「実現したいこと」は車の駆動装置のレベルでも存在することを示している.

この他タイヤでも「実現したいこと」として

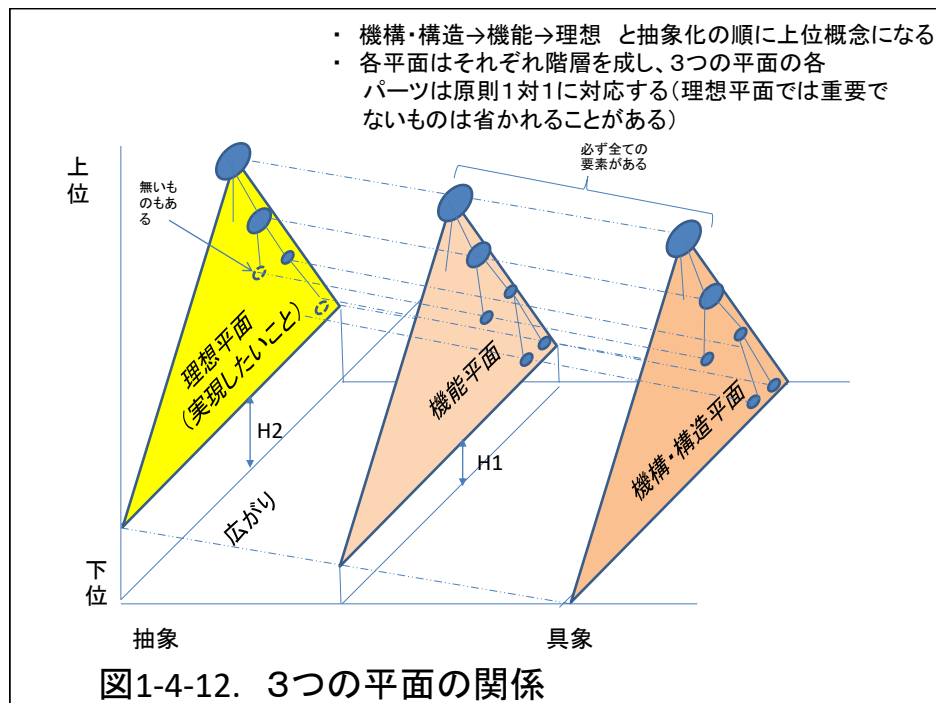
- ・どんな路面(雪道, 水たまり)でもスリップしない.
- ・音がしない.
- ・パンクしない

などがある. このように思考展開のそれぞれのレベルで「実現したいこと」は存在すると考えるのが自然である. そして独創的な製品を考え出そうとするときは, この「実現したいこと」まで上位に上って考えなおすことが重要になる.

(補足 『3つの平面』

近石)

「実現したいこと」は理想形を意味すると考えてよいので, 図 1-4-12. で表現したように, 「理想平面」, 「機能平面」, 「機構・構造平面」を考えると説明がしやすい.



この場合, 縦軸は上位・下位を表し, 横軸は抽象・具象の程度を表し, 奥行き

の軸は各階層の広がりを表す。

「実現したいこと」、「機能」、「機構・構造」の各平面は、それぞれ上位から下位へ階層的に展開している。これを三角形で表現している。また「機構・構造」の上位概念は「機能」であるように、「機能」の上位概念は「理想」（または「実現したいこと」）である。理由は「機構・構造」はその働きである「機能」を必ず一つ持っている。また「機能」はそれが本来果たすべき「実現したいこと」を1つ持っている（一致している場合もあるかも知れない）。

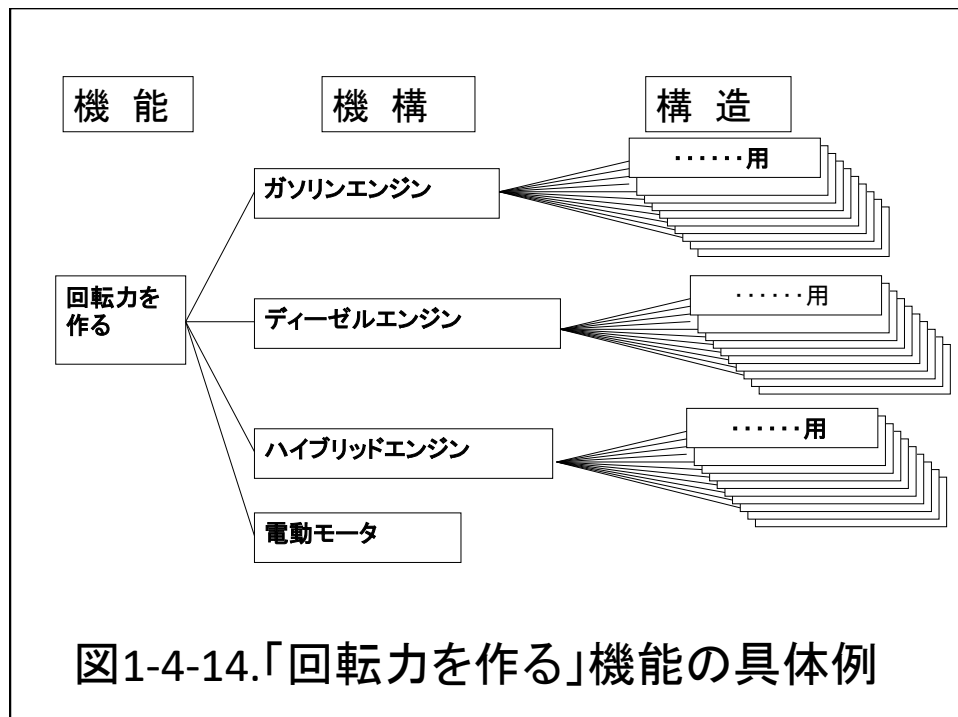
逆に、「実現したいこと」の達成手段である「機能」はいくつもの解が存在し得る。また「機能」の達成手段である「機構・構造」もいくつもの解が存在し得る。このように共通概念でまとめる側を上位とした。すなわち上位の方向には一通りの行き方しかないが、下位の方向へは解はいくつもの道がある。あたかも山頂に通じる山道のようなものである。

そして、従来になかった新しいことを考えるには、まず上位の「機能」まで上って考え直すことが必須であるが、さらに理想（または「実現したいこと」）まで上って見直すとまったく別の新しい道が開けることもある。

新しい構造を考えると、「機能」から始まるか、いきなり「機構・構造」を思いつくかは、状況によって様々である。ただし「機構・構造」を先に思いついた場合は「機能」にさかのぼって、改めて同じ「機能」を持つ「機構・構造」案を複数考える習慣が大事である。

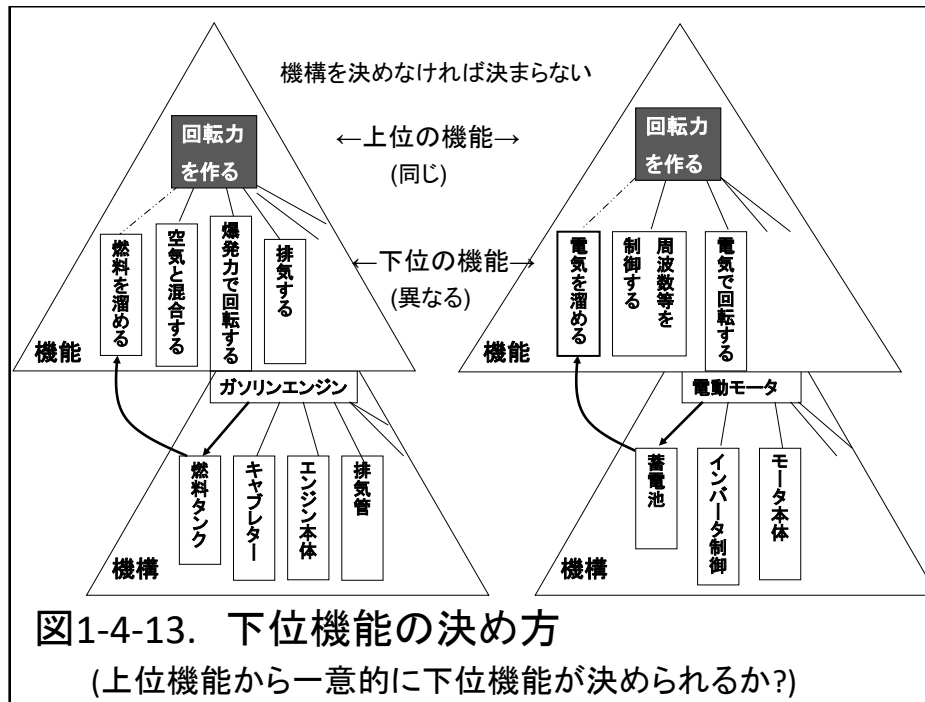
思考展開図で上位の「機能」と「機構・構造」が最初に決まり、次第に下位に展開していく様子を、既存の製品を例にとって説明する。

図 1-4-13. に自動車の「機能」のひとつとして「回転力を作る」という要求機能があったとき、どのように思考展開を進めていくかを示している。



このまま下位の「機能」が展開できるのだろうか。否である。この理由を以下に具体的に説明する。

回転力を作るという「機能」に対して、それを達成する「機構」は例えば4種類の選択肢がある（図 1-4-14. 参照）。



たとえば、具体的な「機構・構造」としてガソリンエンジンのものをイメージした人は、下位の「機能」として、「燃料を溜める」とか「空気と燃料を混合する」とか「圧縮する」……を挙げる。一方電動モータ的なものをイメージした人は、下位の「機能」として「電気を貯める」とか「周波数等を制御する」……を挙げる。両者は上位の「機能」が同じであるにもかかわらず、まったく異なっている。このことは下位の「機能」を決めるのは上位の「機能」ではなく、上位の「機構・構造」（漠然としたイメージでよい）であることを意味している。すなわち、

上位の「機能」→

上位の「機構・構造」（又は漠然としたイメージ）→

下位の「機能」

と決まっていくことが分かる。さらに下位に展開していく場合も同様にして

下位の「機能」→

下位の「機構・構造」（又は漠然としたイメージ）→

もう一段下位の「機

能」

と展開されていく。

別の言い方をすると、ある「機能」を満たす「機構・構造」はたくさんあるが、「機構・構造」の果たす「機能」は1種類に確定される（一つの「機構・構

造」で二つ以上の「機能」をもっているものもあるが、種類としては1種類である)。また「機構・構造」は通常、全体→装置→部品のように階層的になっているので、それぞれに対応している「機能」は、「機構・構造」のおかげで上位から下位まで展開できているとも言える。

左方向は一本道、右方向はたくさんの道があるということは重要で、新しい「機構・構造」を考えるときは、一度左の「機能」へ上がり、その後右方向の「機構・構造」に下りるといくつもの案がそこからでてくる。

同じ「機能」を実現するのに複数の「機構・構造」案から選ばなければならないときは、どのように最適案を選択するのだろうか。これを説明するには、「機構」と「構造」を分けて考えるとよい。

具体例として、回転力を作るという要求機能に対して、ディーゼルエンジンと電気モータという二つの「機構」の選択肢があったとしよう。しかしこのままではどちらが良いか選ぶことはできない。なぜなら形状や大きさ・材質などの「構造」が具体化されていないから、性能も分からないし、コストも分からないので判断のしようがない。こんな場合通常よく実施される方法は、従来の同機構の製品のデータを集めて整理し、新製品の数値を推定することが行われる。たとえば横軸に馬力をとり縦軸に重量やコスト、大きさ等をとってこれを基準とし、さらに新しい設計方針も加味して新製品の重量やコスト、大きさを推定する。このようにすれば、細部の設計を行わなくても、大まかな推定値が得られる。しかし、実績のないまったく新しい機構の場合は、この段階で具体的な数値が不明なことが多いので、必要なところまで展開することが必要になってくる。そして、各選択肢の差異が明確になり、確信を持って「機構」案間の総合評価ができるまでこれを続ける。(図 1-4-15. 参照)

- ・機構の決定には比較選択できるよう最小限の構造検討は必要。
- ・最適案は目標や制約条件等を基準にして評価し、決める。
- ・機構に展開するときは最低3案、できれば5案ほど考える。

	目 標	機 構(ガソリンエンジン)		
		A案	B案	C案
概略構造	—			
性能				
コスト				
その他				
総合評価		○	×	△

図1-4-15. 機構の決め方

(補足 『3つの平面—その2』

近石)

このように、まったく新しい製品を考える場合は、上位の「要求機能」→上位の「機構・構造」→下位の「要求機能」と次第に下位に下りてくるが、これは図1-4-16.のように雲海に覆われた3つの山が次第に上から姿を現していく様子に似ている。

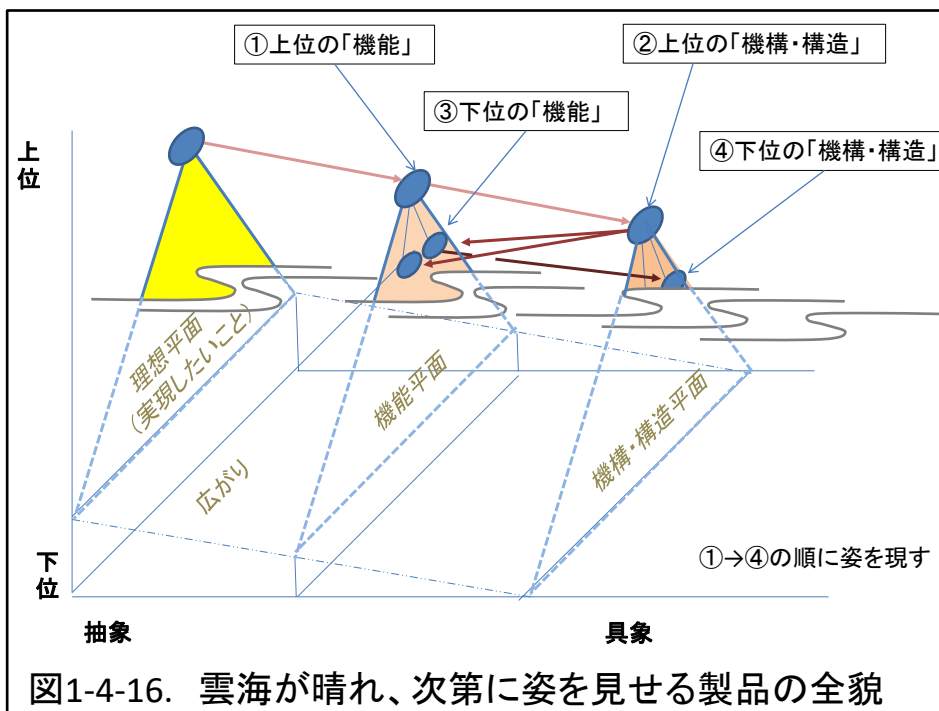


図1-4-16. 雲海が晴れ、次第に姿を見せる製品の全貌

「機能」と「機構・構造」の2平面に注目して説明すると、最初に一番高いところにある上位の「機能」が顔を見せ、次に高いところにある上位の「機構・構造」が顔を見せる。さらに雲が晴れてくると、下位の「機能」が姿を現してくる。次はこれを基に下位の「機構・構造」の順番だが、図ではまだ十分に姿を現していない。

図 1-4-9. も上位から展開されていることを表現しているのだが、渦巻き状に展開するより雲海のほうがイメージが分かりやすいように思うが、どうだろうか？

1-4-3-2. 独創性と模型

ここでは、世の中になかった新しい構造や独創的な製品を考えるときにおける模型の重要性について述べる。

通常の企業の開発活動のほとんどは、現在市場に出ている製品のモデルチェンジや、類似構造であるシリーズの拡大といった仕事がほとんどである。この場合は、開発に関わる人の頭の中には、製品や各部の構造や動きが入っているので、CAD 図を見たり、多少複雑な二次元図面を見ても容易に理解できる。

しかし、まったく新しい構造になるとそうはいかない。例えば、二次元図面を組み合わせた三面図から、頭の中に立体形状を組み立てるのは、複雑な構造の場合、相当に難しい。まして、複雑な動きが入った場合にはさらに難しくなる。3D-CAD の場合は、理解ははるかに容易にはなるが、あくまで設計者の頭の中を表出したに過ぎず、設計者の意図にはなかったことをいろいろ試行して、そこから新しい事実を見つけるようなことは難しい。

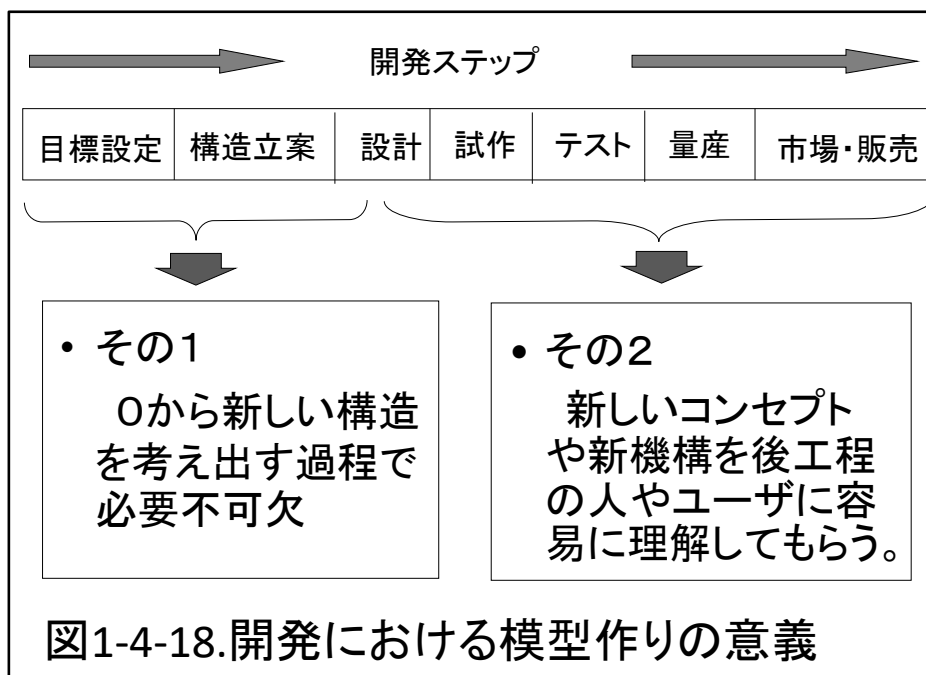
模型を使うと、これらの不都合をカバーするだけでなく、多くのメリットがある（図 1-4-17. 参照）。

- 基本構造が有望か否かがすぐわかる
- 物理現象に反していないかがわかる
- 動きがわかる
- 力の伝わり方がわかる
- 触ることにより、剛性・たわみ・バランス等が感覚的につかめる
- 新しい発見やヒントが得られる

図1-4-17.模型が図面より優れている点

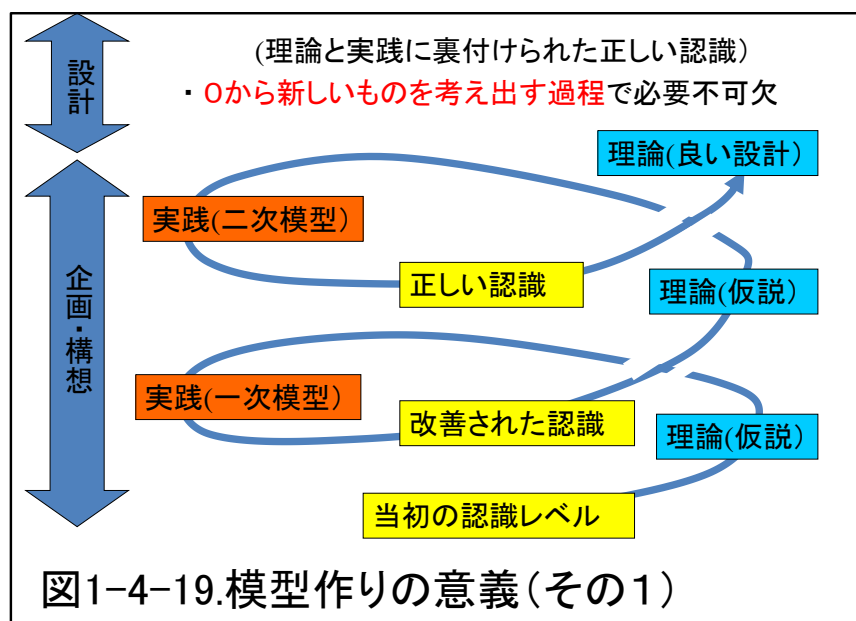
特に世の中になく独創的な構造を考える場合は非常に重要と思われるので、今回の実例を入れて以下に紹介する。

図 1-4-18 を参照いただきたい。開発において、模型を使用するメリットには大きく次の二つがある。



- ・開発の上流工程で，0（ゼロ）から新しい構造を考え出す過程で大変役に立つ。
- ・後工程の人たちやユーザに，まったく新しいコンセプトや新機構を容易に理解してもらえる。
- ・ことである。
- ・以下に個々について詳細に述べる。

図 1-4-19. は，0（ゼロ）から新しい構造を考える場合の頭の中を示している。



要求機能を満たすであろう着想を得た場合，頭の中にはある概念（仮定）が出来上がっているが，それが自然法則に則った正しい認識（事実）であるとは限らない。これを確認するには，何らかの方法でこれを実証することが必要になる。この一つが模型である。

模型のレベルはいろいろな段階がある。例えば基本的な原理だけを確認したい場合がある。この例が，図 1-4-19. の一次模型である。自分の技術レベルが低い場合は，ここで自分が描いていた理論が成立しなかったことが判明する。その場

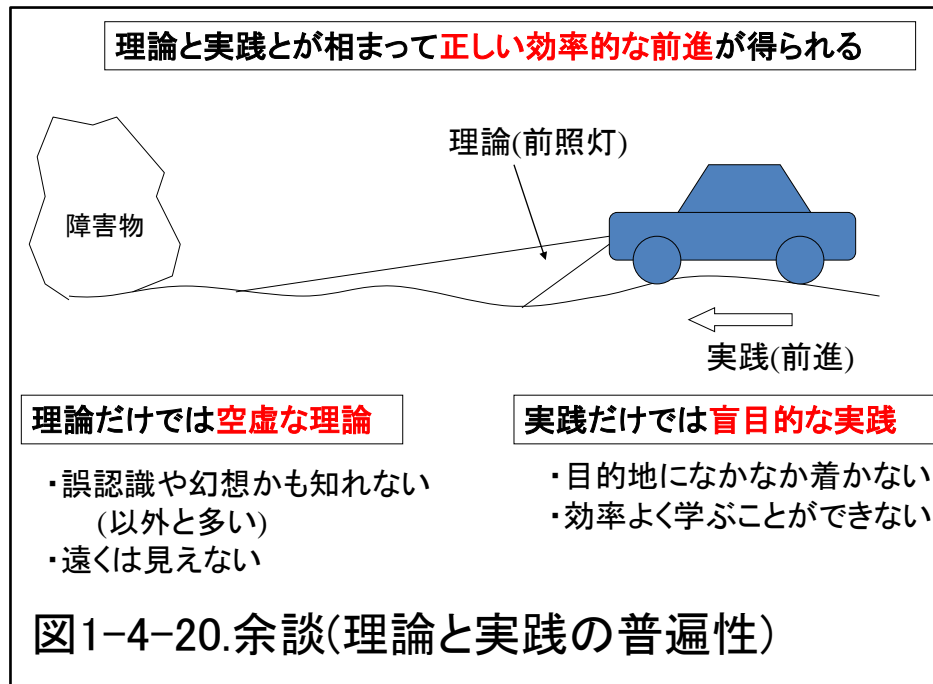
合は振り出しに戻ってもう一度やり直すことになる。そして、この原理段階がうまくいくと、安心して次の段階に進める。そして改善された認識を元に新たな理論（仮説）ができたときは、さらに二次模型を作ってその理論が正しいかの確認を行う。これを繰り返すことによって、事実の裏付けのある精緻な理論ができあがっていくことになる（設計の場合は全体構想から細部の構想に移っていくことに相当する）。

超スムーズ二重扉の場合では、図 2-4-3. がこれに相当する。これによって、開くときは観音開きで、閉じるときは横から閉じる原理が成立することを確認した。次のステップはこれを前提とした上で、次に駆動方式をどうするかを考えることができる。ここで模型があれば、自分で好きなように動かすことができる。ここでは扉の中央点 P が、観音開きと横から閉じる場合とで同じ軌跡を持つことを見つけることができ、駆動系の案の策定へと進むことができた。（詳細は、2-4-2. 「超スムーズ二重扉」項参照）

遊動円木の場合は、当初案（図 2-5-2. 参照）である 2 自由度を持つ系の簡易な模型を作って、実際に振らせてみることによって、2 自由度系ではストロークエンド付近で動きがギクシャクすることが判明した。そこで解決策として、リンクは複数種類使って、ストロークを長くなるが全体として 1 自由度系になるよう、互いの動きを拘束するように方針を変更した。

また「回転ホッピングシーソー」では、各案の模型を作って、グループメンバーで議論したときには、模型を動かすことによって実際の使用状態のイメージを全員で誤りなく共有することができた。（詳細は、2-6. 『回転ホッピングシーソー』項参照）

以上をまったく別の例えで説明する。図 1-4-20 では、車に乗った人が夜道を進む場面を想定している。この場合、理論は前照灯、模型による実践を車の前進に例えている。



前照灯（理論）で照らすだけだと、前方が明るくなるが、見えた世界は霧でハッキリしないこともある。その先には崖があるかも知れないし、岡などの障害物で見えないこともあるかも知れない。霧が晴れていたとしても、遠くまで見通すことはできないし、蜃気楼のような幻想をみている可能性もある。

逆に、前照灯なしに暗闇の中を走ることは、見通しもなくむやみやたらと実践するだけで、目的地に着くことは難しいし、効率的とは言えない。何より危険である。

望ましいのは、前照灯で照らして（理論）、前進（実践）し、地面という事実を確認した上で、そこからさらに前方を照らして前進する。このように、理論と実践が相まって効率的な正しい前進が得られる。

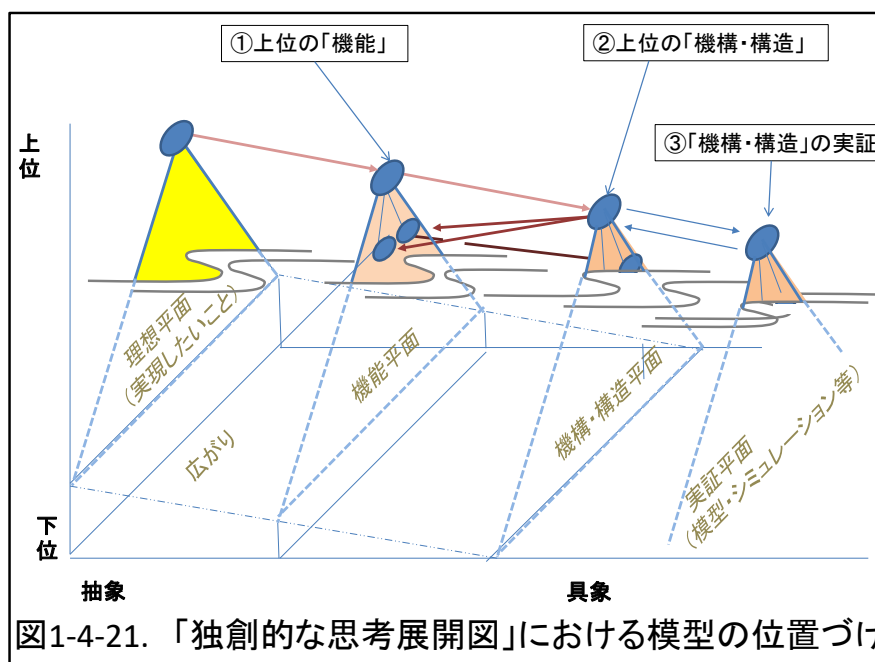
（補足『思考展開図における模型作りの位置づけ』 近石）

思考展開図が、上位の「機能」→上位の「機構・構造」→下位の「機能」→下位の「機構・構造」→……に展開されるのも、実は同じことを言っており、抽象（「機能」）と具象（「機構・構造」）を交互に繰り返しながら進むことによって、抽象の世界を具象の世界で確認しながら、どちらか一方に偏ることなく、正しく進むことができるということを言っているのである。

「機能」（理論）だけで展開することは、実態の裏付けのないまま進むことにな

るので、極端に言えば、どのような空想的な理論体系でも構築できる。しかし現実の世界での製品の開発においては、理論的な誤りは最終的には必ず実物で証明される。したがって、空理空論で終わるかも知れない理論をいきなり最終段階まで展開するのではなく、上位から一歩ずつ実物で確認しながら下位に展開することが結局は早道になる。

この思考展開図における模型の位置づけを表したのが図 1-4-21. である。



ここでは図 1-4-16. の三つの平面にさらに模型等の平面を加え、四つの平面とされている。ここでの模型の役割は「機構・構造」が本当に実現可能かどうかを実証することであると見ることが出来る。そこで、この平面の名称を「実証平面」とした。また、「機構・構造」の実現可能性を見るのであれば、模型に限ることはなく、計算等によるシミュレーションで可能であればそれでもよい。

これは抽象世界にある「機能」から見れば、その実現可能性を「機構・構造」および「模型による実証」の二段階の具象の世界で確認したことになる。

この四つの平面を描いてみて、自分の頭の中がスッキリ見えたような気がした。私はまったく新しいことを考えるときは、まず理想（実現したいこと）にまで遡り、これを満足するであろう上位の「機能」をイメージし、その達成手段である上位の「機能・構造」を考え、さらにその原理が実現可能なアイデアであるかを

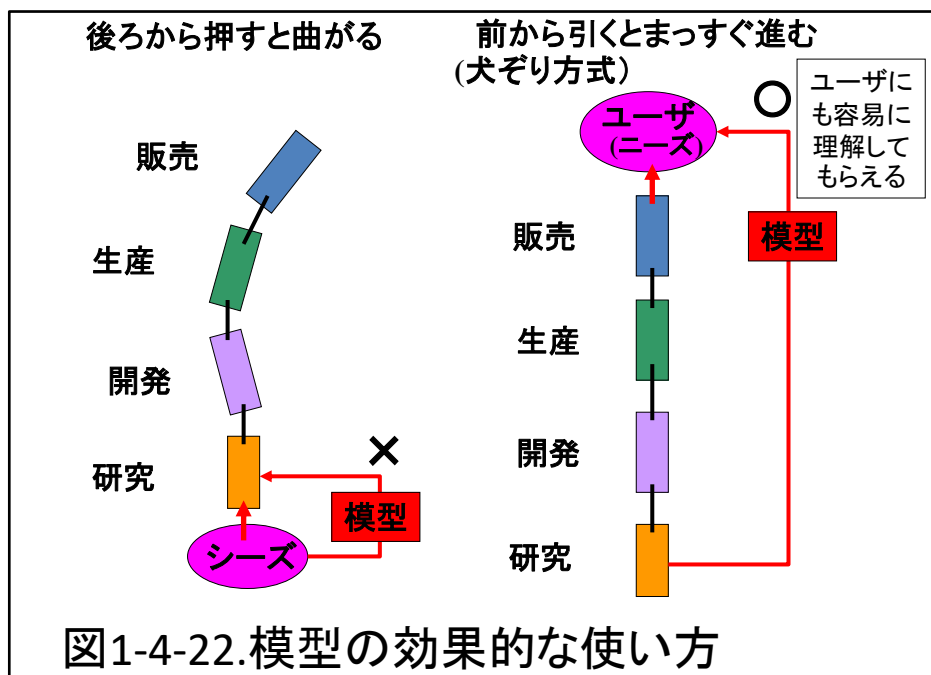
「模型」を作って実証する。ダメなときは4つの平面を行ったり来たりしてやり直す。解が見つければ、さらに下位に展開する。

このようなやり方で、本グループで扱ったテーマや、それ以外のいくつかの課題を解決した経験があるので、多分独創性を発揮するための一般性のある方法の一つではないかと思う。

以上は「模型」が開発の上流で企画・構想を練る段階で効果があることを説明したが、もう一つの役割として、今までにない新しい「機構・構造」の製品を後工程の人やユーザに理解してもらうのに役に立つ。

後工程の人に対しては、模型を用いて基本的な考え方や特長や動きを理解してもらった後、図面等で説明するとよく理解してもらえる。

まったく新しい商品の場合、有効なのは、図 1-4-22. の右の図で示したように、模型を用いればユーザにも製品の良さを容易に理解してもらえることである。



ユーザが欲しいと思えば、それは営業に伝わり、営業が欲しいといえ、その意向は本社部門や生産部門に反映され、開発活動がスムーズに進むことになる。つまり、ユーザが開発を引っ張る形になる（これを犬ぞり方式と呼ぶ）。そうではなく、図の左側のように、社内でその開発思想を伝えようとする、各部でそれぞれの意見

が入ってきて、当初の趣旨からずれたものになる可能性が大きい。模型はこんなところにも役に立つのである。

1-4-4. 新構造の具体事例

個別の実施例の詳細は第 2 章の具体事例に記載することにし、ここでは取り組み全体の総括を行う。

下表は製品毎に①構想案を立案したもの、②構想案に基づいた模型を製作したもの、③実機をつくったもの、で実施状況が分かるようにした。

No.	製品名	「本質安全」の構造			備考
		構想案	模型	実機	
1	エレベータ	○	○		
2	エスカレータ	○	○		
3	大型回転ドア	○	○	(○)	実機は三和シャッター工業(株)で実施
4	超軽量多機能二重扉			(○)	実機は森ビルで実施
5	超スムーズ二重扉	○	○		
6	新型遊動円木	○	○	○	
7	回転ホッピングシーソー	○	○	○	
8	原子力発電所	○	○		
9	機械式駐車場	○	(○)		シャッター用を流用

(補足 『模型について』 張田)

グループで本質安全、改善策等を検討するときに、非常に有効だったのは模型である。模型によって具体的なイメージができるので、ディスカッションが活発となり、レベルの高い結果が得られたと思う。

第2章 実践編（具体事例の詳細）

ここでは、いくつかの分野において、実際に製品の「本質安全」構造の具体案を考えた。この過程で得られた「開発のやり方」に関する着眼点は上位概念化して、第1章理論編の「開発ステップの改善」、「新構造立案の方法」・「独創性を発揮する」に取り入れた。この時の相互のつながりについては、できるだけ関連性が分かるようにした。

2-1. エレベータ

2006年6月3日に東京都港区にある公共賃貸住宅のエレベータにおいて、12階で男子高校生が自転車とともに降りようとしたところ、扉が開いたままエレベータのかごが上昇し、男子高校生がかごの床面と乗り場扉の三方枠の上面との間に挟まれて死亡するという痛ましい事故が発生した。

この事故は危険学プロジェクトが発足するひとつの契機にもなっているが、事故の原因については、次のように報告されている。すなわち、『ブレーキコイルの巻線が途中で短絡し、ブレーキコイル全体に電流が流れなくなったことにより、ソレノイドに発生する吸引力（ブレーキを開放する方向に動かす力）が弱くなった結果、ブレーキアームを十分に押し広げることができず、電磁ブレーキが半がかり状態で昇降が繰り返されていた。そのためブレーキライニングの摩耗が進行し、プランジャーの保持側予備ストロークがゼロになった。その結果電磁ブレーキ内のプランジャーがストロークリミッターにあたり、それ以上ブレーキの保持側に可動できなくなったことにより、ブレーキアームに取り付けられたブレーキライニングがブレーキドラムを押さえることができなくなった。そのため、電磁ブレーキがかごを保持していない状態となり、かごとつり合いおもりのアンバランスによりかごが上昇したことによるものと推定された（昇降機等事故対策委員会「シティハイツ竹芝エレベータ事故調査報告書」2009年9月8日による）。』

この対策として、建築基準法施行令の政令で決められた内容は、

●戸開走行保護装置の設置義務付け（2009年9月28日から施行）

『エレベータの駆動装置や制御器に故障が生じ、かご及び昇降路のすべての出入り口の戸が閉じる前にかごが昇降したときなどに自動的にかごを制止する安全装置の設置を義務付ける。』

であり、より具体的には、駆動装置の故障対応としてブレーキの二重化、また制御器の故障対応として戸開走行を検出してエレベータを制止する安全回路を通常の運転制御から独立した別回路として設置するとある。

以上のように、事故は制御系の不具合により生じたものであり、また対策も制御系をイメージした表現になっており、二重になったとは言え事故への不安が完全に払拭されたものにはなっていない。

ここでは、このような事故が二度と起こらない本質安全構造のエレベータについて検討する。

構造の検討に入る前に、まずエレベータの「本質危険」とは何だろうか、なぜ男子高校生は死ななければならなかったのだろうかと考えてみることは重要である。なぜなら、それこそが「本質安全」を考える上でのかぎになるからである。

エレベータの特徴は、重量物が上下することである。かごはロープで吊り下げられ、滑車を介して反対側にはカウンタウェイトが吊り下げられている。カウンタウェイトの重さはかごに定員の半分の人間が乗った場合にかごと釣合うように決められている。したがって、満員の場合は、かご側の方が定員の半分の重量だけ重く、空荷の場合はかご側の方が定員の半分の重量だけ軽くなる。事故が起こしたエレベータは定員が 29 名で、事故が起こったときは、かごには男子高校生ともうひとりが乗っていただけなので、かごには上向きに $(29/2 - 2 = 12.5 \text{ 人分})$ のアンバランス力 (1 人当たり 65kg として約 800kg) がかかっていたことになる。またブレーキが故障して制動力が効かなくなった場合は、空走距離に応じて加速し、さらに大きな衝撃荷重がかかる可能性もある。すなわち位置エネルギーとしても最大 12.5 人分 (約 800kg) の重さがエレベータのストローク分の高さから落ちてきたほどになる。したがってエレベータの「本質危険」は、これらの重量差の大きいかごとウェイトが上下移動することであり、制御系の構成要素であるブレーキコイルの巻線が短絡するという不具合が原因で、その「本質危険」が顕在化したと言える。

この顕在化した「本質危険」に対応するため、ここでは、ひとつの着眼点として、エレベータのドア (ドア部の任意の 1 点) は正常時であれば、ある決められた軌跡上しか動かないということに着目した。これを示したのが図 2-1-1. である。

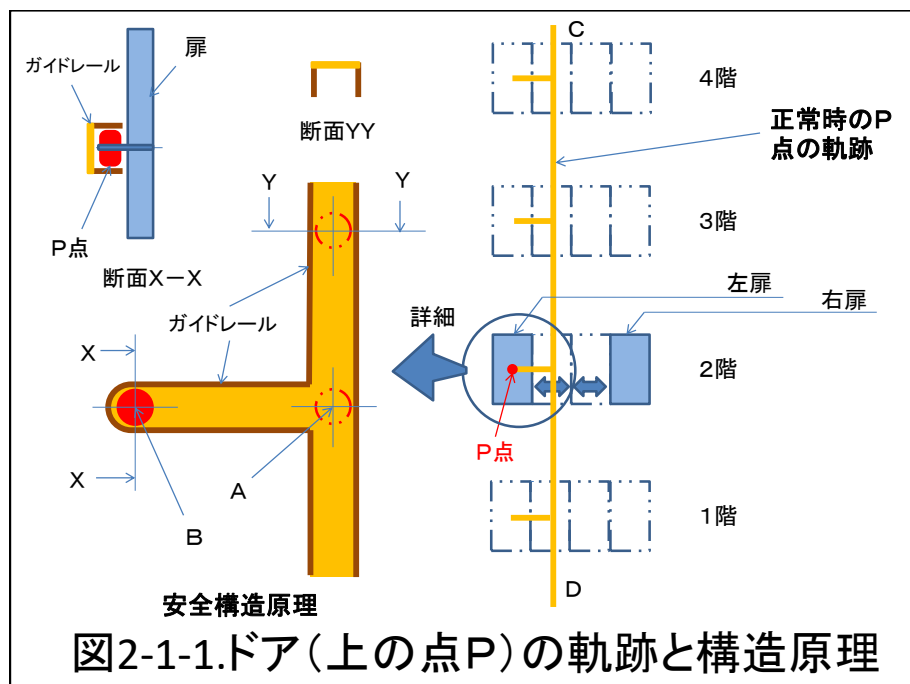


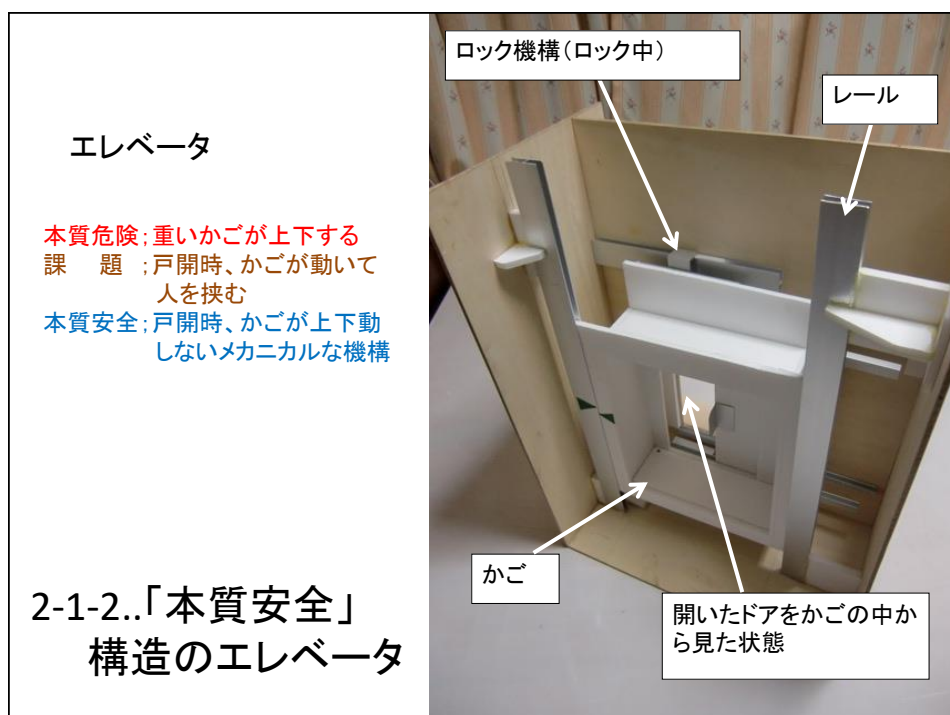
図2-1-1.ドア(上の点P)の軌跡と構造原理

例えばドア部の任意の一点P点は、エレベータが上下するとき、右の図に示すように垂直線CD上を動くが、ある階に停止してドアが開くときは、左の図に示すように、P点は水平線上を点Aから点Bまで動く。逆にドアが閉じるときは、P点は点Bから点Aまで戻る。このドアが閉じた状態でエレベータが上下すると、P点はまた垂直線CD上を動く。他の階に止まってドアを開閉する場合も同様である。すなわちP点は正常時には垂直線CDとそこから間欠的に水平に張り出す水平線群の上しか動かないことになる。

逆に異常な状態として、戸開時にエレベータが上昇する場合を考えると、P点は、前述の水平線から外れた領域に入ることになる。すなわちP点が、決められた線上のみを移動可能とし、それ以外の領域には侵入できない構造にすれば、エレベータは常に安全な状態を確保できることになる。

例えば、左図の扉断面詳細に示すように、P点をローラで構成し、ローラが通る垂直・水平線をガイドレールで構成すればよい。こうすれば、P点はガイドレール上しか動かないので、戸開時にかごが走行することは絶対ない。

実際の設計に際しては、ガイドレールが敷設できる場所は限定されるし、ドアにローラをつけることも場所の制約や強度上の問題もあるので、例えばドアと連動して動き、かつ強度も確保できる点(P)を人の出入りの邪魔にならない所に設ける等の工夫をして完成したのが、図2-1-2.の模型である。



以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- ① 模型に採用した構造は、制御にはまったく依存していない本質安全構造である。従って制御系（電源・センサ・アクチュエータ・電子回路・ソフト）にどのような異常が生じようとも戸開走行事故は起こりえない。このように安心できる構造にしたうえで、制御系で使いやすい便利な機能を付加していけばよい。（図1-1-1.参照）これが「本質安全」と「制御安全」の望ましい組み合わせである。

これに対し、従来の場合だと、戸開走行のような大事故が発生すると法律や規制を含めた対応を余儀なくされてきた。例えば、今回の事故に対しては、従来のシステムとは別の戸開走行防止システムを併設することが義務付けられた。このように二系統の制御システムを備えることにより、従来よりは安全になったが、これで完璧かどうかは疑問が残る。過去には多重のシステムを採用していた場合でも、同じ原因により同時に不具合を起こすことがあった。

（例1）御巢鷹山に墜落したジャンボジェット機の場合、尾翼を操舵する5重の油圧システムの配管が1箇所を通過していたため、そこが破壊されて全システムが動かなくなった。

（例2）福島第一原子力発電所の配電盤は全てが地下に設置していたため、津

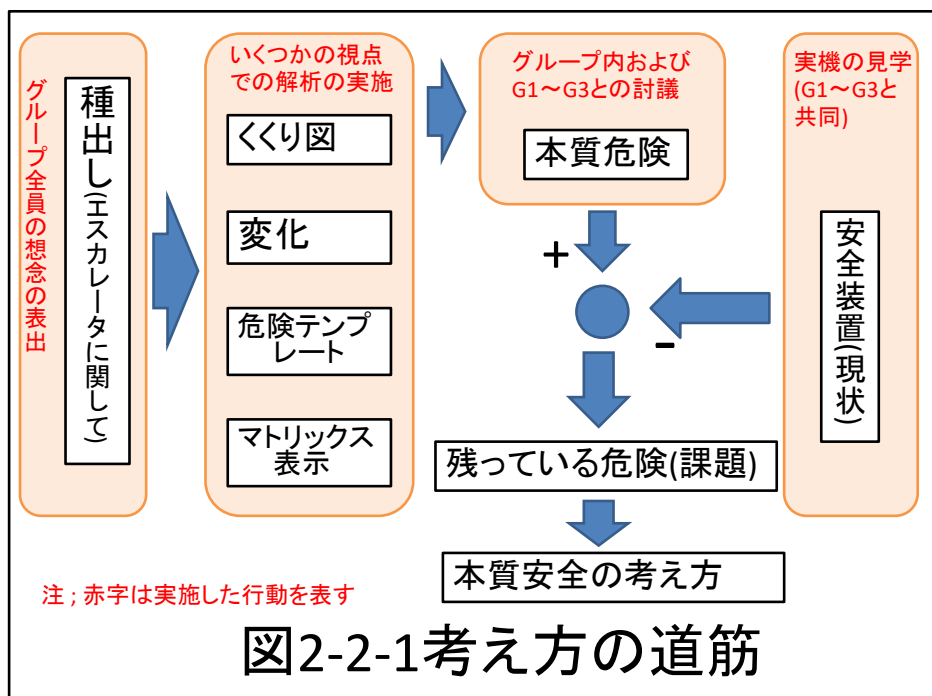
波により浸入した海水によって、水没し、全ての電気系統が動かなくなった。このようなことを考えると、安全を考える基本は、制御系を頼らず、本質安全構造を実現することにまずは力を注ぐべきである。これにより、製品の安全性は飛躍的に向上する。

- ② しかしこれは多くの場合、基本構造物の大幅な変更を意味する。また製造原価への影響も多くの場合無視できない。したがってこの「本質安全」を考えるとこの工程は、基本構想案を考える早い段階で組み込まなければならない。なぜなら、後からの変更は不可能に近いか、または大きな困難を伴うからである。後述するいくつかの具体例では、基本構造が従来とまったく異なるものもいくつかある(2-4.「大型回転ドアに代替する新構造」;2-7.「原子力発電所」等)。

そこで「開発ステップの改善」では、「構造立案」の最初の段階で「安全の企画」を入れ、ここで本質安全を実現する基本構造を考えることにした。ここで「本質安全」構造を採用するかどうかの議論を十分行った上、実行と決まれば、この構造を前提に全体の構成の検討に入ることになる。

2-2. エスカレータ

エスカレータでは、図 2-2-1.の「考え方の道筋」に沿ってグループでワークを行った。全体の流れは以下の通りである。



まずグループメンバー全員で、エスカレータに関して頭の中にある想念をできるだけ表出した。次にそれを近い概念同士をまとめて「くくり図」を作成し（図 2-2-2.），これを整理し，変化を読み取ろうとした。

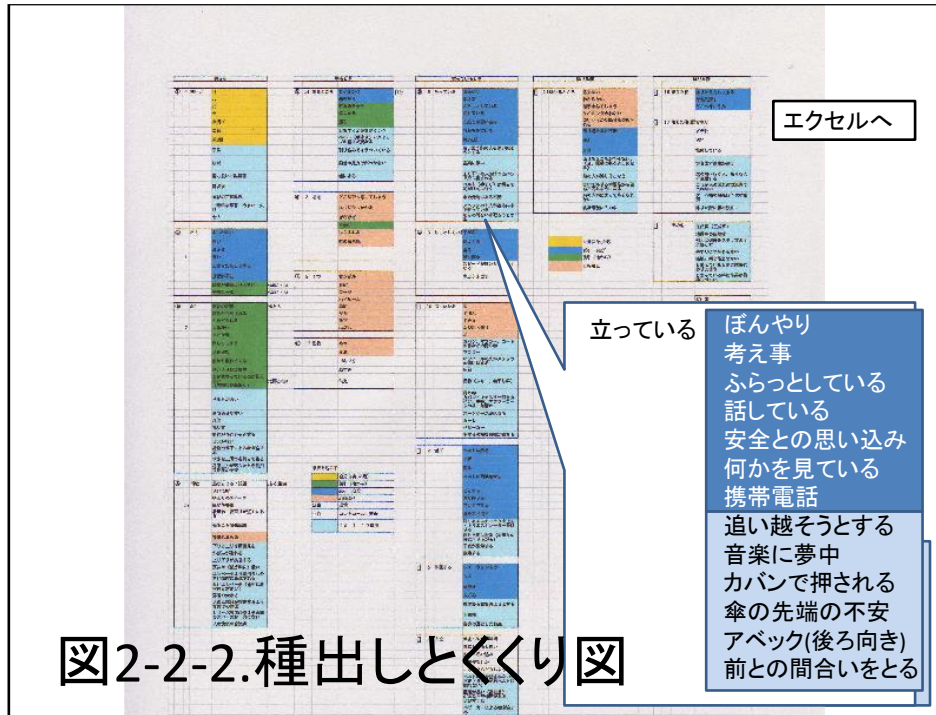
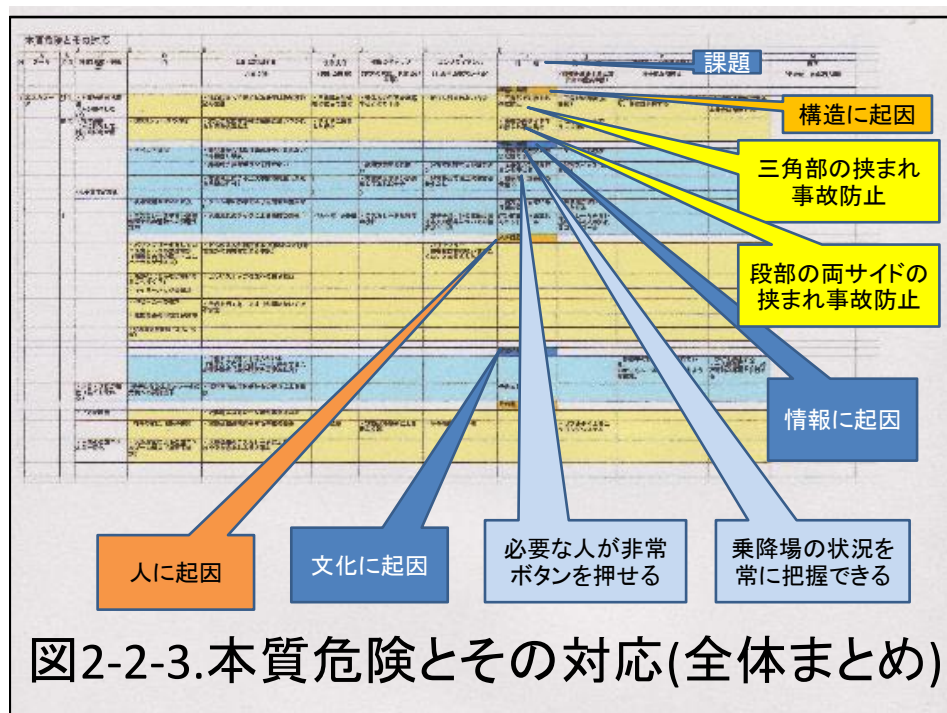


図2-2-2.種出しとくくり図

そしてその中に潜む「本質危険」とは何かをあぶり出すことを試みた。それと並行して東芝エレベータの研究施設へ見学に行き，現状の安全装置について実機で勉強した。そして現状ではまだ解決されていないことを課題として，摘出した（図 2-2-3.）。



課題で挙げたものは構造に起因するものとして、

- ・ 三角部の挟まれ事故防止
- ・ ステップ部の両サイドの挟まれ事故防止

の2件が挙げられる。

情報に起因するものとしては、

- ・ 必要なときに乗降場の状況を把握できない。
- ・ 緊急時、必要な人が非常ボタンを押せない。

という課題が挙げたが、今回はその中の一つを取り上げて以下に紹介する。

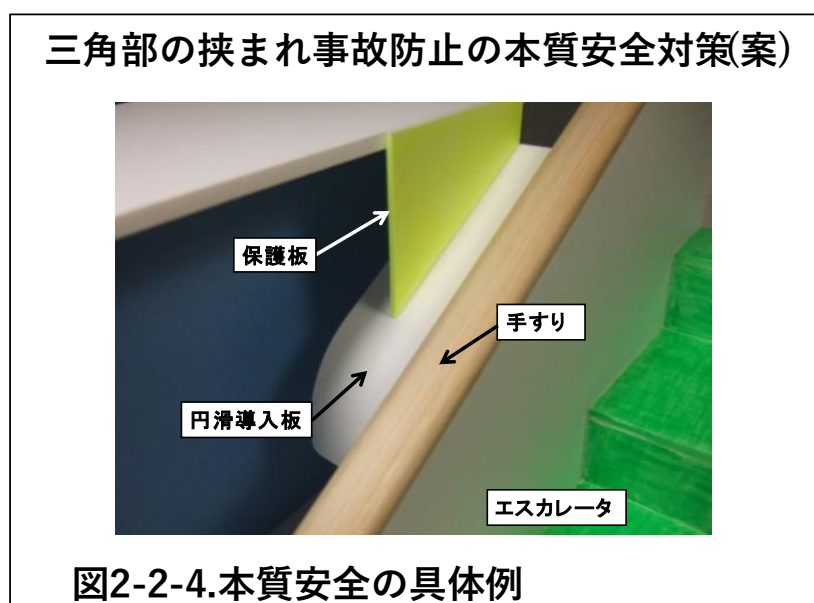
(1) 三角部の挟まれ事故について

2007年10月1日平塚市のスーパーマーケットで9歳の男児が手すりとアクリルの保護板との間に首を挟まれ、一時意識不明となった。この保護板の規格は、1999年12月に小学5年の男児が頭を挟まれた死亡事故を受け、2000年の建築基準法改正に合わせ、告示で盛り込まれた。この事故の現場では、保護板が手すりより20cm下に長くなければならないとの規定に対し2cmしかなかったことが事故の原因であるかの如き報道がなされた。

NHKの「クローズアップ現代」に出演を要請された畑村代表は、早速再現実験

を行い、「本質危険」は手すりから保護板までの間隔が 14.5cm であることを実験で示した。この間隙だと子供の頭がスッポリ入り、固定された保護板と動いている手すりとの間でねじられるのである。子供の頭が挟まれやすい最も危ない間隔は約 15cm であると言われており（業界の常識）、まさにそれが正しいことが実験でも証明された。従って保護板の長さを規定している現在の規定は重要なポイントが抜けていると言わざるを得ない。

畑村代表はその対策案を考え、NHKとの事前打ち合わせに臨んだ。本グループでも「本質安全」構造を考え、模型を製作して事前打ち合わせに参加したところ、畑村代表との対策案はまったく同じであった。基本の考え方は頭が手すりより下側に行かないよう、上方にガイドする板を保護板の前方に追加したことにある（図 2-2-4. 参照）。NHK側の要望で模型を貸出し、放送では新たにNHKが作った模型も登場して分かりやすい解説が行われた。



以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- ① 法律があるからといって、それが妥当であるとは限らない。従って法を守っているだけでは、進化する社会の要請に对应しているとはいえない。
- ③ 課題に対しては、自分で確認して納得することが大事。そうすれば、対策も的を得たものになる。

2-3. 大型回転ドア

大型回転ドアを本質安全構造にする活動は、直接本グループで実施したわけではないが、「本質安全」を提唱した最初の実施例になり、またグループメンバーにも関係者がいるので、いろいろ検討の材料として使わせてもらった。そこでその概要を以下に紹介する（詳細は「ドアプロジェクトに学ぶ」日刊工業新聞社、参照）。

大型自動回転ドア、エレベータ、シャッターなどの本質安全を達成する1つの方法は、人が挟まれたら、柱やドアのほうが壊れるか、あるいは変形したり逃げたりする仕組みを作り上げることである。もちろん、そのつど部品が破壊して交換しなければならないようでは用をなさない。

大型自動回転ドアであれば、スナップ機構でドアの先端部分を折れ曲がるようにし、人が挟まれたときの力を逃がすなど、生存空間を確保できるようにして安全に脱出した後、折れた部分を元に戻し、すぐに再使用できるような仕組みなどが考えられる。これを模型にしたのが図 0-0-2. である。実は六本木ヒルズの事故機メーカーのグループ会社である三和シャッター工業㈱も同じような発想で新しい回転ドアを開発し、2009年に商品化した。前提にした要求機能と制約条件が同一であれば、同じような構造案が生まれるのも当然といえるかも知れない。

図 2-3-1. は開発した製品である。本グループのメンバーである三和シャッター社員が腕を挟む実験を見たが、扉は腕に当たった後、中央部で折れて回転も止まり、人間には何の危害もない。その後折れたドアを元のまっすぐな状態に戻し、再起動の操作をすると通常運転に戻る。この大型回転ドアにはこれ以外にも人の後ろ側のドアが追突しそうになったらそれを検知して止まるなどの安全装置もついており、快適で安心のできる大型回転ドアが実現した。これは「本質安全」と「制御安全」の望ましい組み合わせといえる。

大型回転ドアの改良品（実機）



図2-3-1本質安全の具体例

ただし、この製品が大いに売れているかというところでもないらしい。構造が複雑になった分コストが上昇したが、事故対策として全ての回転ドアに適用されている回転速度の制限は本対策を実施しても解除されないため、新構造にしたメリットが生かされないのである。行政側もこのような進化を押しやめない配慮をして欲しいが、メーカー側からも積極的に働きかけることが必要だろう。

以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- ①「本質安全」構造として、人に当たると機械側が逃げる、または逃げた結果、生存空間を確保するとの考え方は、共通の概念として活用できる。
- ②「本質安全」構造が実現すれば、法規性や保険、税制はそれを優遇する方向に動くべきである。

2-4. 大型回転ドアに替わる新型ドア

ここでは、大型回転ドアに代わるまったく新しい構造のドアシステムについて考える。大型回転ドアの目的は前述したように、空気の入りを禁じて、人や物だけを出入りさせることである。また、大型回転ドアの「本質危険」は前述したように、重量回転物が固い壁に囲まれた空間内を早い回転速度で動いていることである。

新しいドアシステムの解があるとすれば、目的は同じで、本質危険を解消したものに
なるはずである。この条件を満足する解を色々検討した結果、ここでは二重扉
を改良したものを二種類紹介する。

現在二重扉は一般的に使用されている。目的は大型回転ドアとほぼ同じである
が、優先順位の置き方がまったく正反対である。すなわち、回転ドアは空気の出入
りを禁じて、人はその合間を縫って出入りするというのが基本であり、それを厳正
に守っている。すなわち、回転ドアがどの位置の場合でも、通常3枚または4枚あ
るドアのうちいずれか2枚のドアが外周壁と接して空気の出入りを完全に防
止している。一方二重ドアは、逆に人の出入りを自由にして、その合間を縫って扉
を閉めることにより、空気の出入りはなるべく少なくするというのが基本的な考
え方である。従って、扉は二重になっているが、空気の出入りを完全に防止して
いるわけではない。すなわち、人が扉に近づくと自動的に開くようになっており、他
の扉との連動はまったく無い。したがって、人の出入りが多くなってくると双方の
扉が開いているという状態が多くなり、空気の出入りを防止するという機能はま
ったく不十分になってしまう。ただし安全性の面でみると、使われている扉はスラ
イド式（引き戸式）か折りたたみ式が多く、扉が軽量であると同時に押し付け力も
小さいので安全性についての心配はない。これらの扉は満員の電車やバス等の実
績も多い。

そこでこの二重扉を基本構造として採用し、その欠点を補うというのが以下の
二種類の新型ドアの共通した考え方である。

従来型の二重扉の欠点は前後の扉が両方とも開いて空気が吹きぬけるというこ
とである。この点を改め、両方の扉が同時に開くことがないようにすればよいとい
うことは容易に思いつく。たとえば、ひとりだけの人間が通り過ぎる場合を考えて
みよう。

人が近づいた入口側の扉が人の接近を検知して開く。そしてその人が扉を通り
過ぎたことを検知して扉が閉じる。反対の出口側の扉はその間、開かない。そして
その人が出口側の扉に近づき、かつ入口側の扉が完全に閉まったことを確認して
始めて出口側の扉が開き始める。そしてその人が出口側の扉を通り過ぎるのを検
知して出口側の扉が閉まる。その間、たとえ別の人が近づいたとしても、先に開い
た扉に優先権があり、それが完全に閉まるまでは他の扉は開く動作を開始しない。
このようにすれば、空気の流れを完全に遮断することができる。ただし、双方側か

らほぼ同時に出入りする場合を考えると、少しでもあとから来た人は、前の人を通り過ぎるまで待っていなければならないという不都合が生ずる。これを避けるには2レーンを設けてそれぞれを一方通行にするとより使いやすくなる。

ここまでは、二方式共に共通であるが、そこから先は考えた思考過程が異なるので以下に個別に説明する。

(補足； 『「直観」について』 近石)

二重扉方式を選んだのは、ほぼ直観である。別に全てのドアの方式を詳細に検討して決めた訳ではないが、下記の2グループで検討したものは、同時期に互いに独立して検討したにも係わらず、結果はたまたま同じになった。

将来的に良い製品に育つためには、基本技術の筋が良いことが重要である。素質といってもよいかもしれない。これを見るには細かい点を見るのではなく、全体像を漠然と見るのが大事な気がする。これは過去の経験に裏付けられた直観ともいうべきものである。)

(補足の補足 『直観とトップの仕事』 近石)

自分の勤を働かせずに、「周囲がやっているからやった」ものはたいてい競争に負けて消えていくが、直観を働かせて「いける」と判断したものは、最後までぎりぎりになると光ってくる。それを見抜いて育てていく判断と実行力がトップに立つ者には必要である。

(補足の補足 『直観について』 張田)

重要な「直観の力」を向上するためには、グループ長が指摘する「過去の経験」を含め、幅広い分野における学習の継続が不可欠であることを認識して努力する必要がある(決して簡単なことでないことを述べたい)。

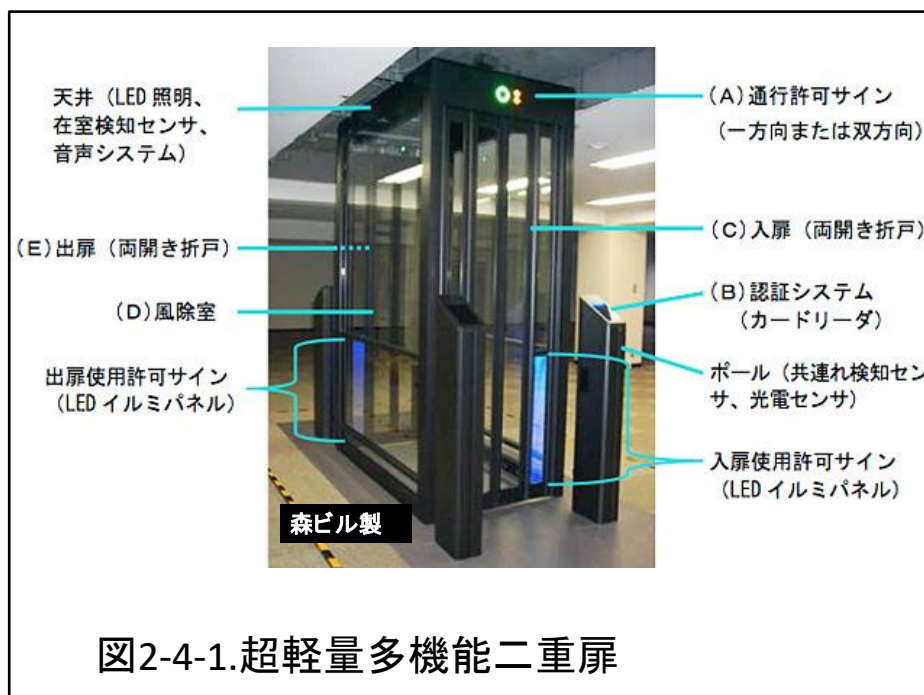
(補足の補足 『直観について』 中山)

コロンビア大学のアイエンガー教授は、「選択の科学」の講義の中で、良い選択をするには、情報に基づく直観力を養うことだと言っている。情報に基づく直観を身につけるには、明らかに経験が必要で、何度も繰り返すことで情報を分類・整理する能力が培われる。そして、何がよくて何が悪かったのか、何故

失敗したのかをフィードバックすることが必要である。

2-4-1. 超軽量多機能二重扉（商品名 パスムース）

まず「超軽量多機能二重扉（図 2-4-1.）参照」の場合は，森ビルが中心になり，いくつかのメーカーが共同で開発したもので，二重扉方式にさらに扉の超軽量化を実現しており，仮に人が扉と接触することがあっても，そこから受ける負荷を軽くするように考慮している．またカードを用いた認証システムなど多くの機能も織り込んで，さまざまなケースに使えるよう工夫している．筆者らグループメンバーも試作品の披露会には参加したが，開発には直接関わっていないので詳細の説明は省略する．



2-4-2. 超スムーズ二重扉

もうひとつの「超スムーズ二重扉」は先ほどの二重扉の原理に，さらに通り抜けやすさをプラスしたもので，従来にない独創的な（変わった？）新構造を考え出す良い例と思われるので，以下に詳細を説明する．ここでは，5種類の最終案を考えましたが，その過程で，4つの転換点（着眼点）があったので，これを順を追って説明する．

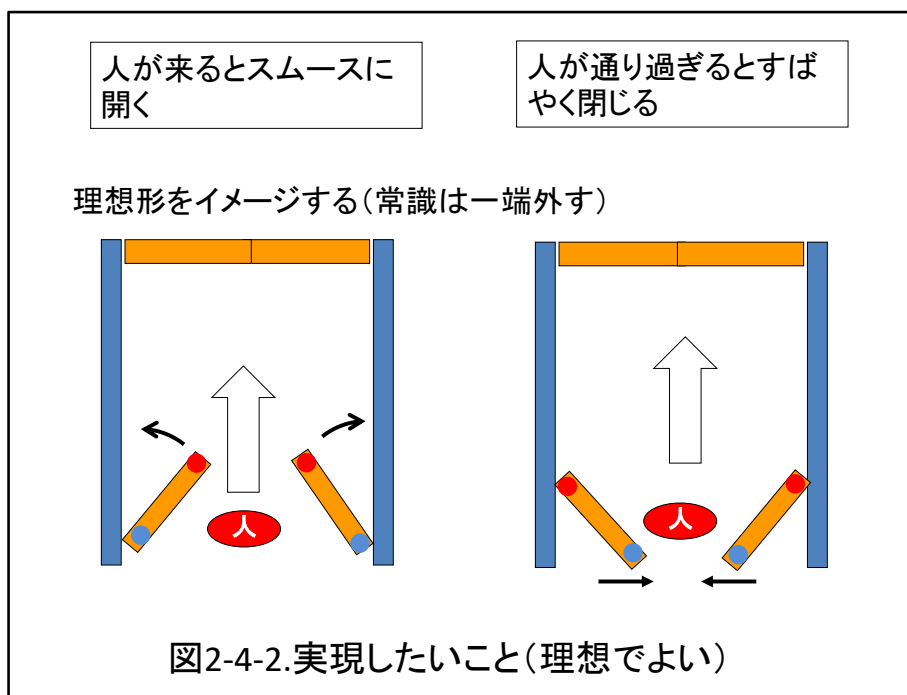
一方通行の二重扉方式の問題点は，「通り抜けやすさ」と「占有設置面積」がト

トレードオフの関係にあることである。すなわち、人がストレス無しに2枚の扉を通り抜けようとするとき、2枚目の扉の前で待つ時間を減らす必要がある。しかし、1枚目の扉が完全に閉まらないと2枚目の扉が開く動作を開始しないので、ひとつの解決策は各扉間の距離を十分とって、通り抜ける人が立ち止まらなくてもよいようにすることである。しかしながらこれでは二重扉全体の占有面積は大きくなってしまふ。この場合、少し遅れて来た人は、前の人を通り過ぎて扉が完全に閉じるまでは目の前の扉は開き始めないので、待ち時間が増える。逆に面積を小さくするために距離を短くすると2枚目の扉に早く着くが、1枚目の扉が閉まっていないので、待ち時間が増えてしまふ。このトレードオフの関係を解消する方法がないかという着眼が本方式の出発点である。このためには、扉に関する従来の常識にとらわれず、あらゆる可能性を考えることにした。

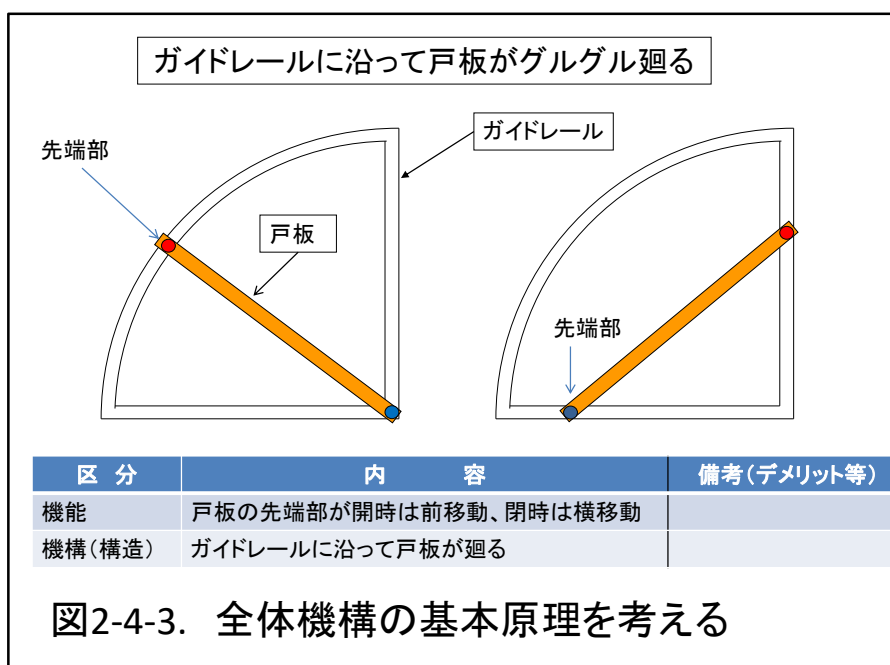
そこで、扉の理想状態を考えてみた。このとき扉に入るときと出るときは別々に考えてみる。通常は扉の開時と閉時は動きが常に逆になるのが常識であるがこの制約を外すことにする。

扉の前に立った時に扉が開くとき入りやすいのは、前方に逃げる方向に開く「観音開き方式」の扉である。開き始めると同時に人も前進できる。一方「スライド方式」の扉の場合、人は扉が肩幅まで開くまでは前進できない。逆に扉を通過したあと、閉まるときはスライド方式がスムーズである。すなわち扉のラインを少しでも超えると閉める動作を実施できるのに対し、観音開き方式の扉の場合は、人がさらに前進して肩幅が当たらないようにならないと閉動作を開始できない。

では、理想形として扉が開くとき観音開き方式になり、扉が閉じるときスライド方式にならないだろうかというのが**第一の着眼点**である（図2-4-2.参照）。

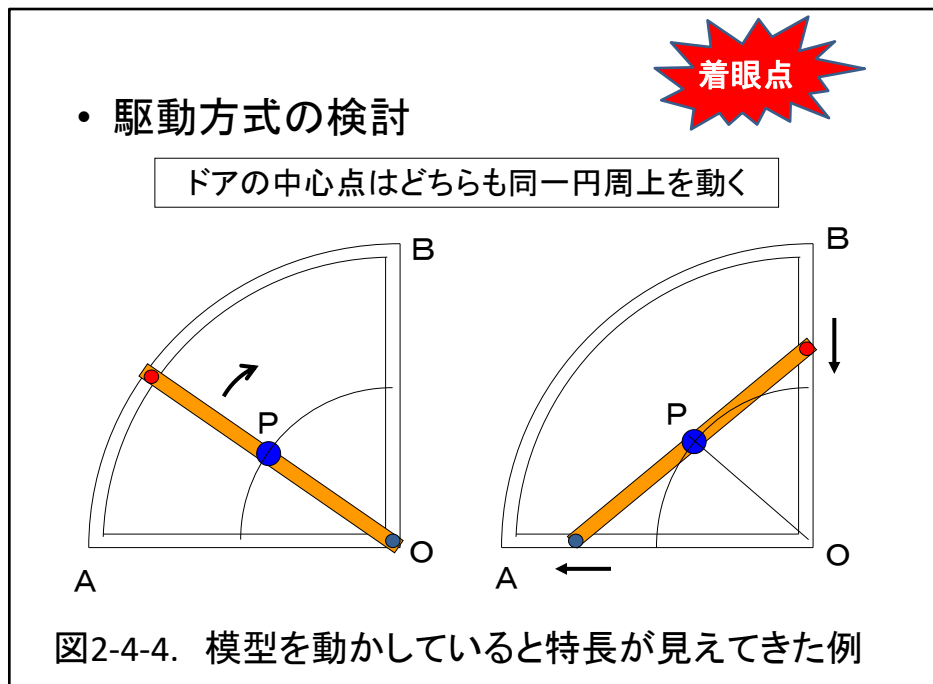


そこで、これを実現するための最上位の「要求機能」として、「入る時は前方に開き、通り過ぎると横から閉じる」とした。これを実現する基本機構として図 2-4-3. のように「ガイドレールに沿って戸板の両端がぐるぐる廻る機構」とした。

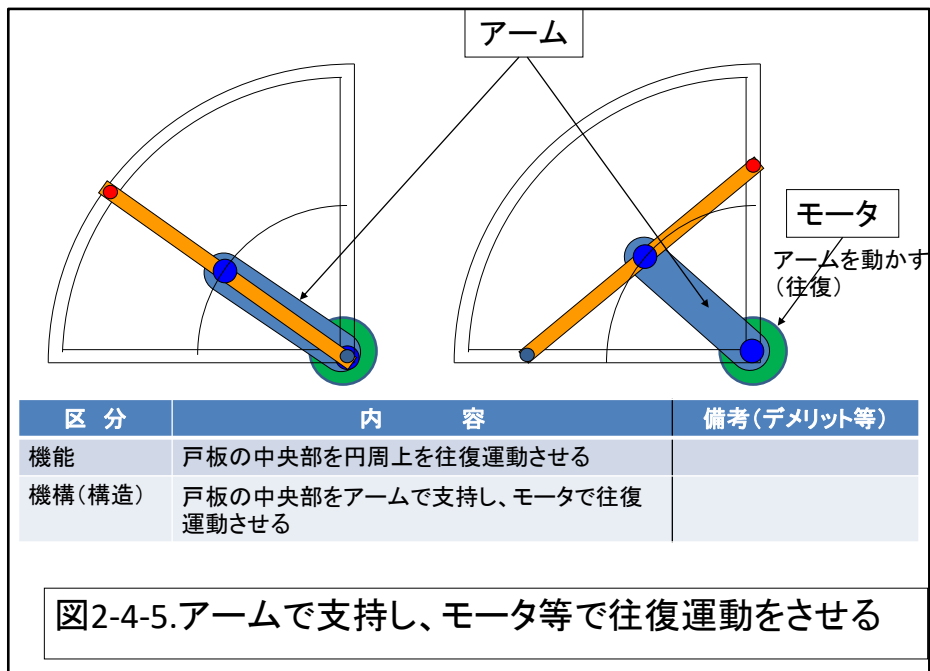


簡単な模型を作って、観音開きとスライド式の組み合わせが実際にどのような動きになるかジューと見ていた。すると観音開き方式のドアの midpoint とスライド方式

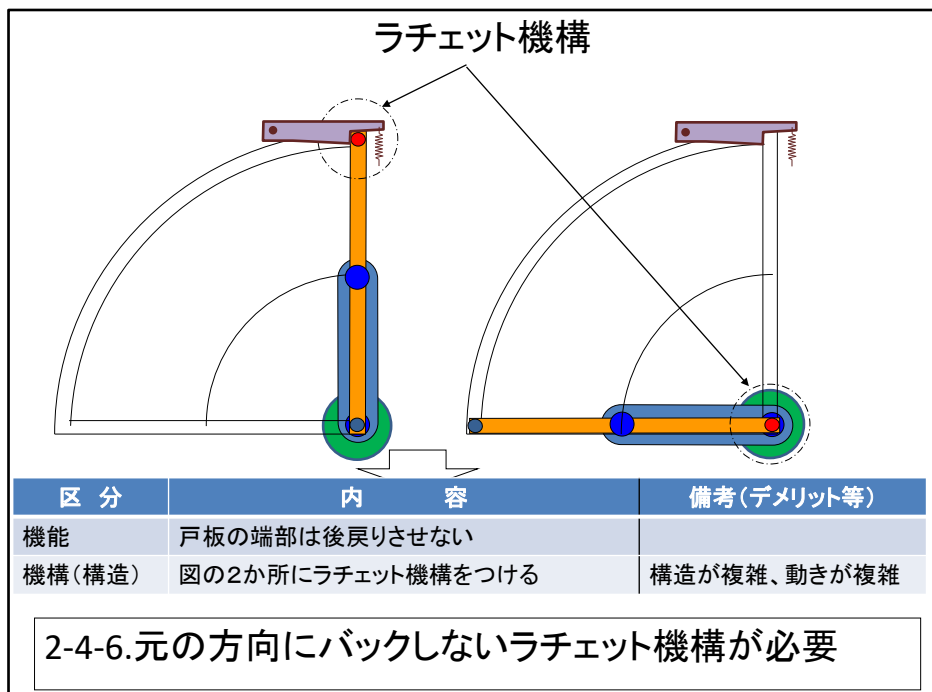
のドアの中心の軌跡が同じ円周上を動くことに気が付いた (図 2-4-4.) .



すなわちドアの全長を R とすれば、観音開き方式では、ドアの一端が点 O を中心として、他端が円弧 AB 上を回転する場合は、ドアの中心 P の軌跡は点 O を中心とし、半径 $R/2$ の円周上にある。またスライド方式でドアの両端がそれぞれ直線 OA 、 OB 上を動く場合は、ドアの中心 P は点 O を中心とし、半径 $R/2$ の円周上にあり、先ほどの観音開き方式と同じ軌跡となる。(昔、中学でやった幾何学が役に立った。) P 点の動きは開時と閉時と方向は逆になる。つまり OP を半径とするアームに扉の中心をピン結合し、このアームを揺動すれば、開時は観音開き方式になり、閉時はスライドする構造が実現することになる (図 2-4-5. 参照) .



これが**第二の着眼点**である。ただしドアが後戻りせずぐるぐる回っていくためには、バックを防ぐラチェット機構がB点とO点には必要である(図 2-4-6. 参照)。こうして模型を製作した。



つぎに、この模型を使って動かしているうちに、気になる点がでてきた。それは、往復運動とラチェット機構である。これをもっと洗練させる方法がないだろうか

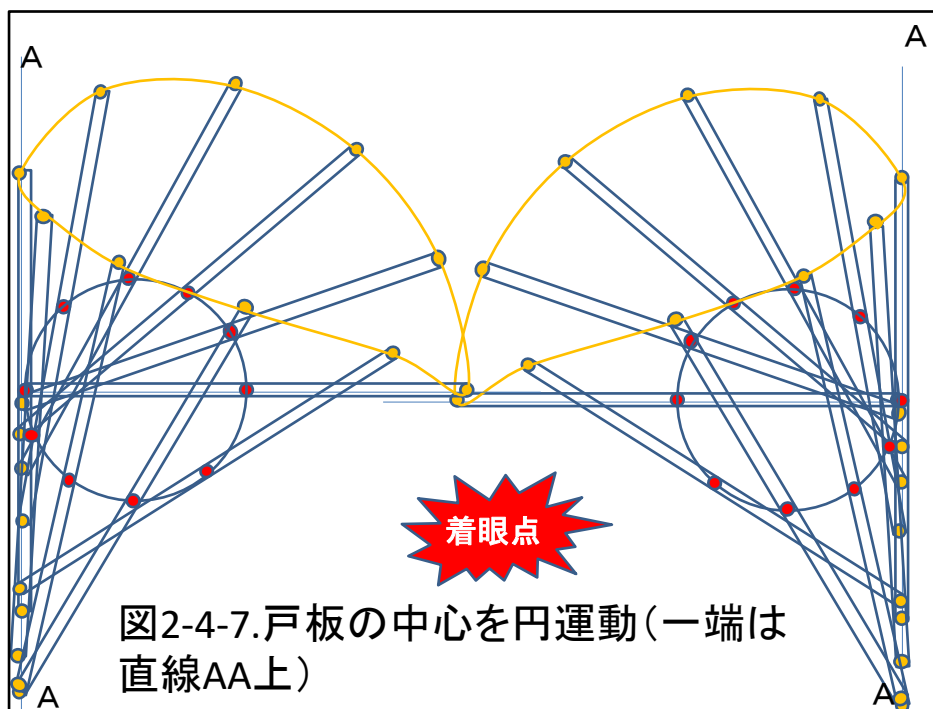
と考えた。

このように、構想を立案中の段階では、1つの考えが出たからといって、それに満足してはいけない。もしその案が製品化して市場に出た場合、競合他社はその製品の課題を見つけて、その解決策を出してくるのは当然である。したがって、最初に思いついたものをそのまま最終案として市場に出すのは、競合他社にヒントを与えているだけになる。

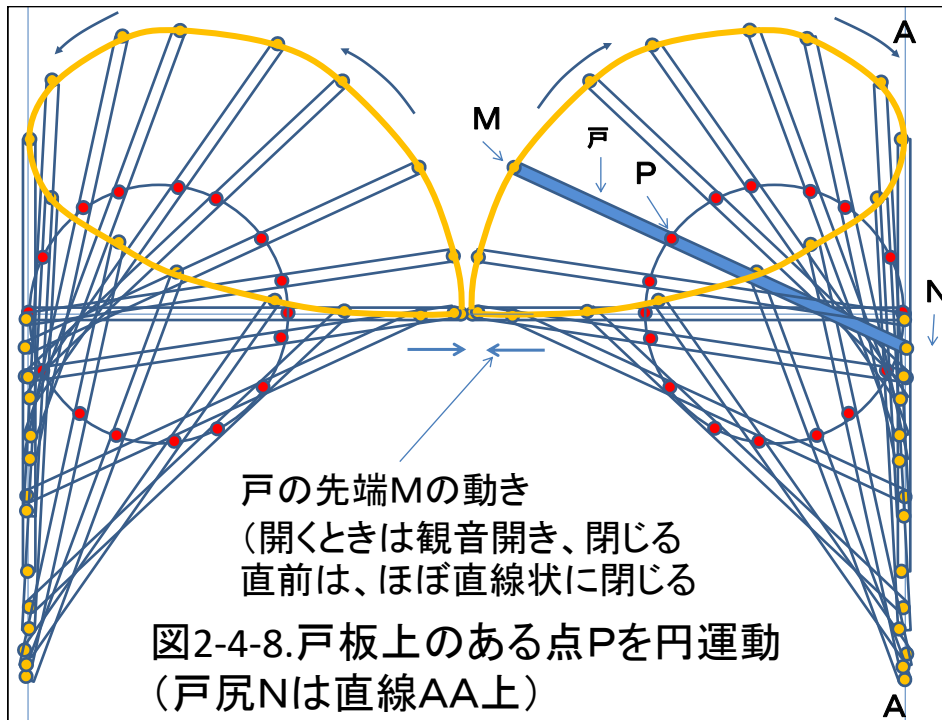
従って、そうならないためには、自ら課題を見つけて、さらなる改善策を模索することが重要になってくる。

この意味では、上記二つの課題を自ら見つけたことは、**第三の着眼点**（または視点）ともいってもよいかも知れない。

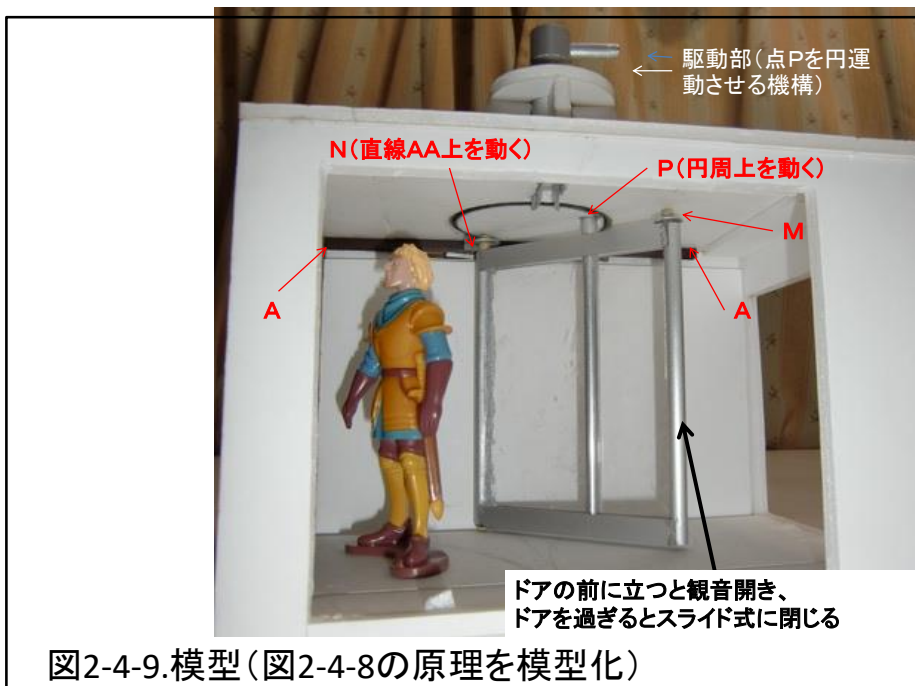
そこで、先ほどの戸板の中央部を掴んで円運動させ、戸板の壁側の端部を壁に沿わせてみたのが図 2-4-7. である。



これによると、往復運動が不要になると同時にラチェット機構も不要になってくる。すなわち、戸板の中心部を一周円運動させると戸板は観音開きをした後、そのまま引き続いて閉動作に入り完全に閉まって開閉動作は終了する。この場合、たまたま戸板の中心部を駆動したが、前模型のように中央部である必然性はない。この点をいろいろ変えて動きを調べてみた。するとある場合に、閉まる時の戸板の先端部の軌跡がほぼ直線になるものが見つかった。それが図 2-4-8. である。

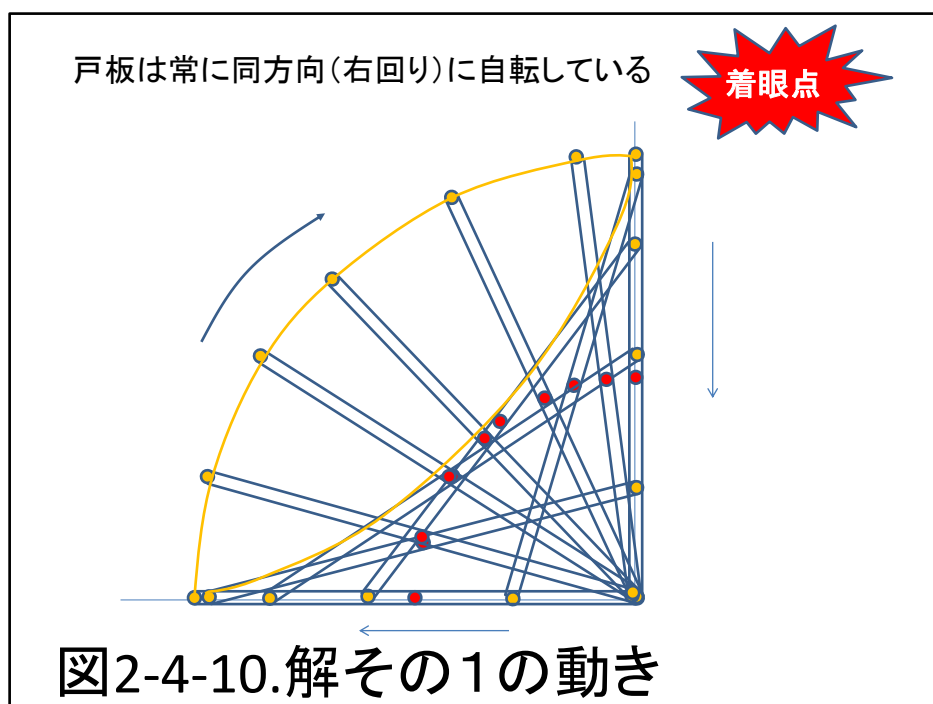


戸板の先端の軌跡は図の黄色の線のようになり、これだと人が入ろうとすると戸板が観音開きで開き、元の戸板の位置を少しでも超えた時点で戸板を完全に閉めても人に触れることはない。動きとしてはここで目指していた理想的なものを一応実現したことになる。これを模型にしたのが図 2-4-9. である。

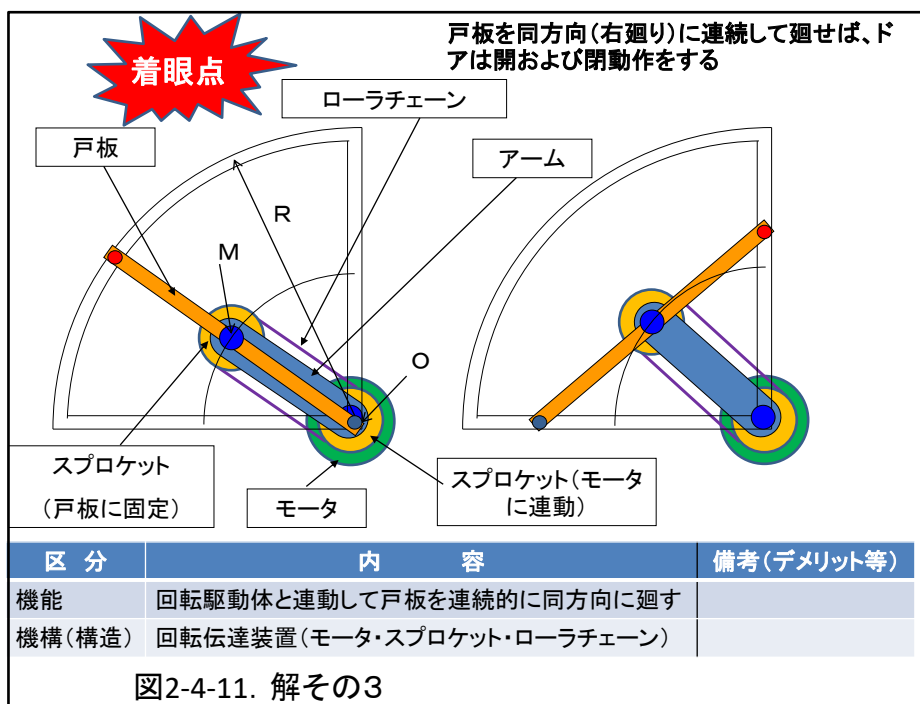


以上で当初実現したいことを満たす解が少なくとも2例は見つかったことになる。しかしそれが最適なものかどうかは、もっとその周辺に解がないかを検討した上でないと判断できない。そこで今までの思考の過程を振り返って検討した。すると前記第三の着眼点（視点）の別解として下記3案がさらに浮かんできたので、以下に記す。

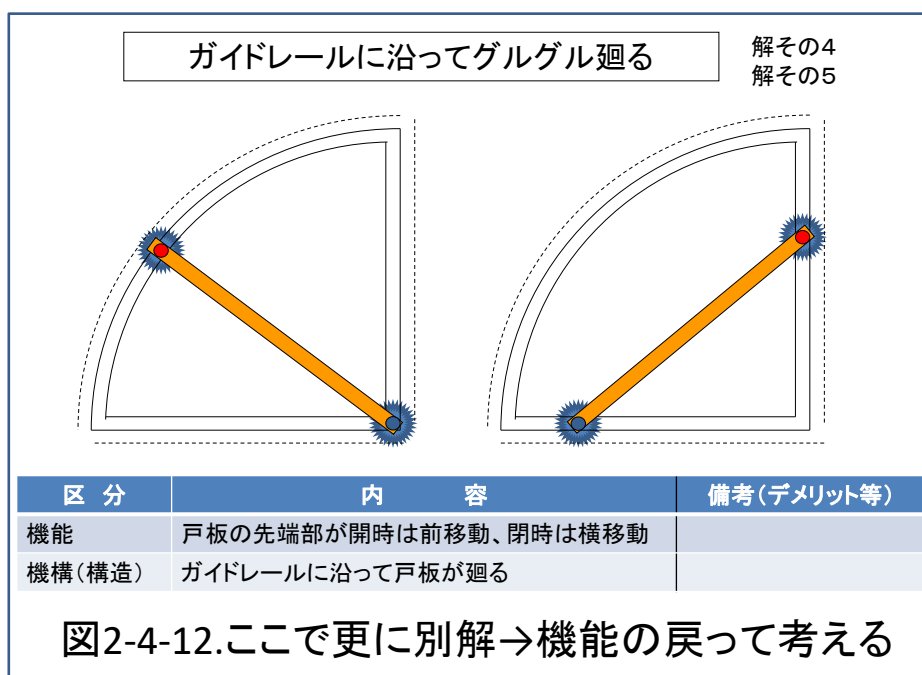
その一つは、図2-4-10.を見ているうちに気がついたことで、戸板は開から閉の一連の動作を通じて常に一定方向（図の場合は右回り）に自転していることである。そうであるなら、戸板に連続して右回りのトルクを与えれば、その戸板はガイドレールに沿って自動的に開閉動作をすることになる（**第四の着眼点**）。



この考えを進めてできたのが、図2-4-11.である。これは解その1と同様アームで戸板の中心部を支持し、この戸板をスプロケットとローラチェーンとを用いて建物側に設置したモータで駆動する。これを解その3とした。この構造はラチェットがなくシンプルである上に、往復駆動ではないため、動きが滑らかである。



二つ目は戸板の両端を駆動するという考え方である。例えば図 2-4-12. のように、戸板の両端にピニオンとこれを回転駆動するモータを設け、ガイドレールの外側にピニオンとかみ合うラックを設ける。こうして、二つのモータをコントロールして回せば、戸板は開閉動作をする。



三つ目は戸板の両端をリニアモータで駆動することである。この案はこれ以上の検討はしていないので説明しない。

以上で、「人が近づくとスムーズに開き、人が通り過ぎるとすばやく閉じる」という「実現したいこと」を挙げ、その解決策として上記5案を案出した。いずれの案も従来技術にない独創的な（変わった？）ものになった（と思っているが特許調査はしていない）。

本チームではここまでで終わるが、実際に製品を作るとなるとこれらの候補案（まだ解があるかも知れない）の中から、性能・コスト等を総合比較して実施案を絞り込むことになる。

以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- ① まったく新しい構造を考えるときは、従来からの常識や制約から脱却した上で理想状態をイメージすることが有効。
- ② 理想状態をイメージした後は、逆演算思考で達成手段を考えると効果的である。
- ④ 新しく考えた構造の特長や課題を掴むことは、つぎの発想を得るために有効である。
- ④ 上記のような場合、模型を使うことは、効果が大きい。

2-5. 新型遊動円木

遊動円木は、今は公園からほとんど撤去されて見かけることがなくなった。これは過去に遊動円木で重大な事故を起こしたことによる。インターネットのWikipediaによると、「2002年5月に愛知県豊明市の保育園に設置された鉄板を用いた遊動円木に乗って遊んでいた男児（当時四歳）が転落、地面と鉄板の間に下半身を挟まれて太股の骨を折るなどの全治2ヶ月の重傷を負った。また、大人数の児童らが群がって遊ぶ事も出来るこれらの遊具では、しばしば過剰に児童らが乗り、これによって老朽化した同遊具が倒壊する事故も起こっている。2002年5月に名古屋市中川区の公園で多くの児童が乗った同遊具が破損、13名が負傷し、内6名が病院に搬送された。2002年に数件の同遊具に絡む事故が報じられた事から危険な遊具と見なされるようになり、児童公園や保育園などからは老朽化を理由に姿を消しつつある。」とある。同様に箱型ブランコや回旋塔なども同じく撤去されつつある。

本来子供たちが遊具を通じて取得すべきいろいろな能力を学ぶ機会が無くなることを憂慮した畑村代表は、これらの3種を「絶滅危惧種」と称して、これらを復活させようとした。そこで畑村代表が教えていた工学院大学でも、授業の一環として新しい遊具を自分たちで企画して実際に製作することを始めた。その際、目指すべき遊具とはどうあるべきかについて、学生たちのまとめた結論は、『子供に重篤な被害を与えるような本質的な危険は当然除かねばならぬが、まったく危なくない遊具にしようとして動きのないものになってしまうと子供達が興味を持たなくなるし、遊具から危険を学ぶという趣旨から反するものになる。従って適度に危なさを感じる遊具が望ましい』という結論に至った。

(補足 『リング型ブランコについて』 近石)

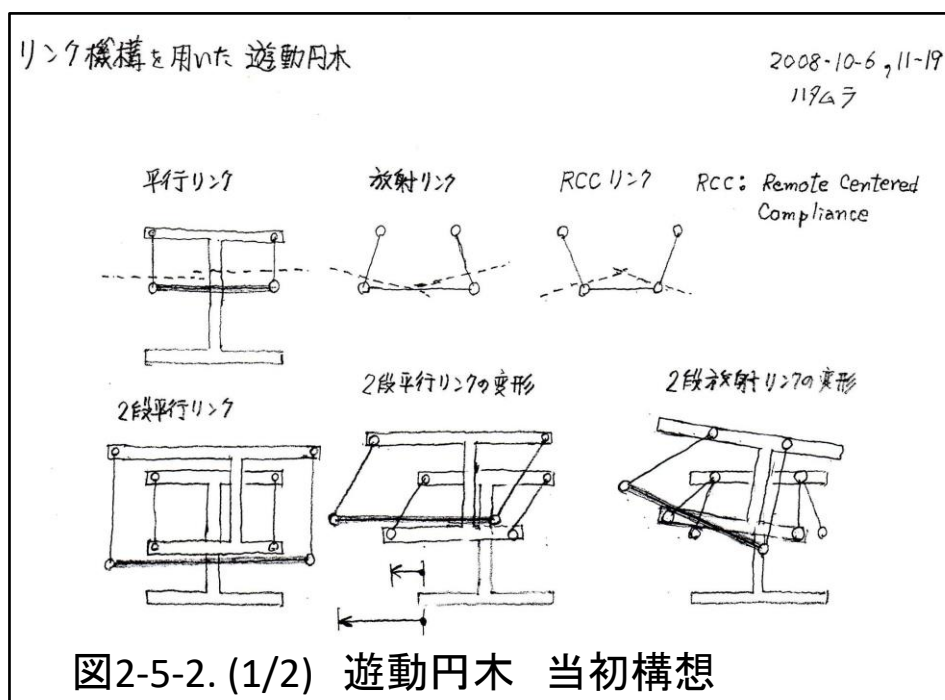
工学院の学生たちが考えた遊具がこれである(図2-5-1.参照)。

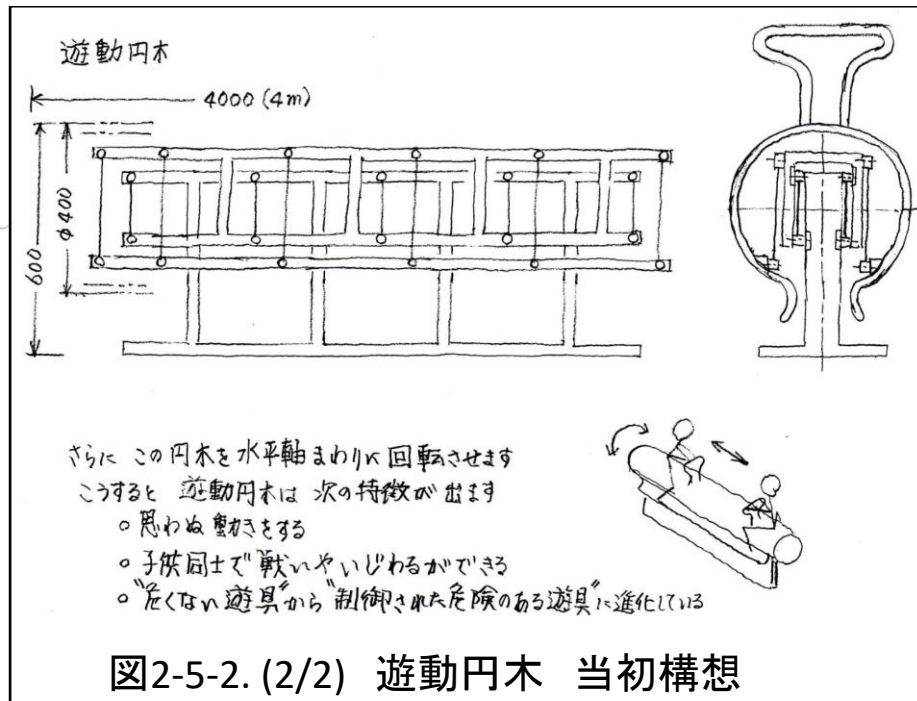


従来の箱型ブランコに比べて地面との隙間は最少でも35cmとすることで、生存空間を確保している。またリンクと座席が相対運動することもないので、挟まれ事故は起こり得ない。衝突に対しても、緩衝部材を設けることで衝撃を小さくする工夫をしている。この遊具は宮田村の商工祭で子供たちに紹介され喜ばれた。2012年5月現在「リング型ブランコ」は「新型遊動円木」および「回転ホッピングシーソー」と共に、木祖村のこだまの森に設置され楽しむことができる(ただ

し冬場は除く).

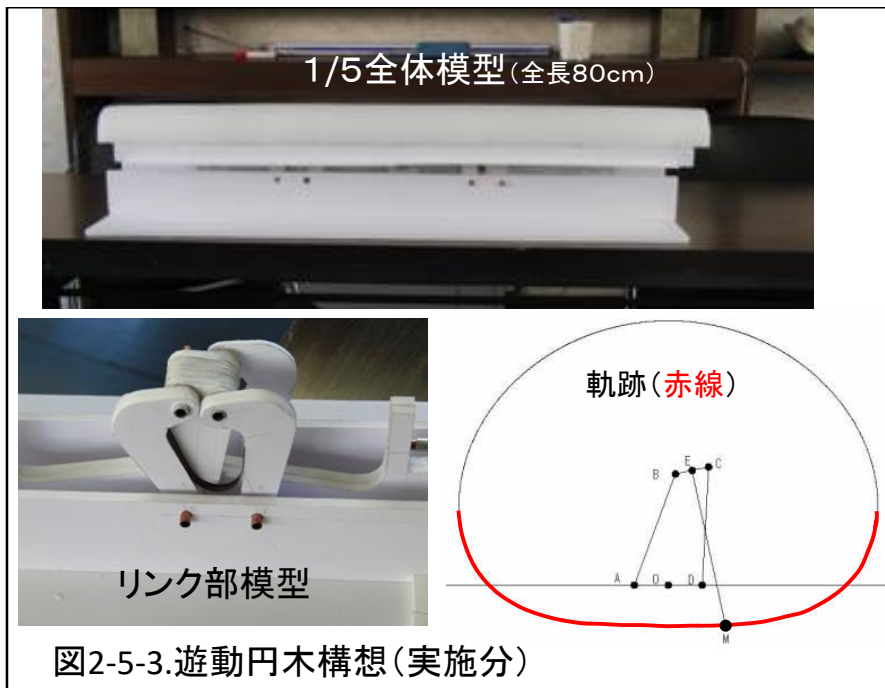
危険学プロジェクトでも、その一環として「新型遊動円木」を開発することにした。本グループも遊具グループと共にこれに参画し、主に開発を担当することにした。畑村代表は挟まれ事故に対処するために、ある構想をもっていた。それはリンク機構を用いて地上から支持する方式の遊動円木である (図 2-5-2. 参照).





これによると、円木と地面との間にはリンク機構があるため、ここに子供がはさまれることはない。リンクの構造は、地上から座面までの高さを押さえてストロークをかせぐため、2段の平行4節リンク式としている。さらに円木が水平軸まわりに回転できるようにして、子供同士が戦いやいじわるができるように、多少の危なさも感じることができるようになっている。この基本構想を受けて、具体的な検討を始めた。まず簡単な模型を作って動きを確認すると、揺れが最大になって戻り始めるところで動きがぎくしゃくするという問題が見つかった。

原因は平行リンク2つがそれぞれ独立して動くため、自由度が多く、動きが不確定になることであると分かった。そこで、自由度が1（すなわち確定的な動きをする）で極力シンプルな構造を目指して検討した結果、1つのリンク機構が見つかり、それを模型の形にすることができた。（図2-5-3.参照）



その模型を遊具メーカーの大永ドリームの永島社長にお渡ししたところ、構造の有望さを納得していただき、模型をベースに1か月もたたないうちに実物を作り上げてくれた。(図2-5-4.参照)



(補足 『ロボーツの機構について』 近石)

実機を作った永島明（当時大永ドリーム会長）は動きを解析しているうちに、この機構はロパーツの直線運動と同じだということを見つけた。実際にリンクを検討中、中央点前後のかなり長い範囲で直線運動部分がでてきた。しかしこれでは揺動機構としてはふさわしくない（中央点に戻ってこない）ので、中央点が最下点になるようリンクの長さを変更して大きな円弧になるようにしたという経緯がある。（図 2-5-3. 軌跡を参照）

このように最初からロパーツ機構を利用しようとしたのではなく、たまたま同じ機構だったということなのだが、別の見方をすれば、世の中にはすでに直線運動機構はいろいろ考えられているが、これらを積極的に利用すれば遊動円木の別解が見つかる可能性があるということになる（残念ながらこの試みはやっていない）。このように、特性をよく見て特長を掴むことにより、一種の上位概念に上ることができれば、解を多く見つけることができることは過去何度か経験がある。

このリンクの特長は、動きが従来のブランコや遊動円木などの円周運動と異なる点である。すなわち、中央部では曲率半径が大きく、揺れの両端部では曲率半径が小さくなるので、揺れが小さい間はゆっくりとした周期の長い往復運動をするが、揺れがだんだん大きくなって両端部までかかるようになると往復運動の速度が上がってきて周期は短くなる（通常のブランコは振幅の大きさに関わらず、周期はほぼ一定である）。実際の運用時でも、子供たちが懸命に漕ぐと両端では飛び上がるような動きになるので、子供達の歓声も高くなる。またふり幅をとらずにゆっくり漕ぐと、周期の長いゆったりした動きになるので、老人施設などにも良いのではないかと思う。

以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- 新構造を考えるとき、特に動きをみるには模型が役に立つ。また、初めての人にも技術思想を伝えやすい。

2-6. 回転ホッピングシーソー

回転ホッピングシーソーは危険学プロジェクトの遊具作りの第 3 弾として企画した。これは、畑村代表が公園から消えつつある遊具を復活させ、子供たちに楽しんで欲しいとの思いを実現することが基本の動機になっている。本グループとし

故に備えて、保険にも入った。

木祖村での公開日である10月9日の感謝祭当日には当初想定した子供と親が一緒に楽しむ姿が目についたが、子供同士で遊ぶ場合もかなり多かった。また、近隣の自治体からも、大いに関心を示す首長さんが来られた。このように、開発の当初に回転ホッピングシーソーとその開発に関わる全体の関連や広がり把握しておくことにより、関係しそうな人たちに早めに接触することができ、スムーズに事が運んだだけでなく、想定外の事態が起こるのを防ぎ、ほぼ順調にことを運ぶことができたのではないかと思っている。

注記；実務においては、対外的な動きは危険学プロジェクト研究総括の手塚氏とG(7)「遊具」グループ長の井原氏がほとんど全ての手配をしてくれた。

目標設定に際しては、最初に遊具をめぐる社会の変化を8名のグループメンバーで議論した。このことを通じて顕在化する「本質危険」を見極め、新しく開発する遊具の「本質安全」に取り入れようとしたからである。

この議論では、複数人（子供同士、親子）で遊べる遊具が少なくなったとか、動きのある遊具が撤去され少なくなったとかの意見が多く出され、子供たちの遊具離れが浮き彫りになった。これは事故を起こした遊具が公園からつぎつぎと撤去されたこと等により、子供たちにとって魅力のないものになっている一方、個人で遊ぶゲーム機が普及してきたのが原因ではないかと思われる。

これらの変化を踏まえて遊具の「本質危険」とは何かを改めて議論した。出てきた結論は「安全を過度に求める親たちの姿勢こそが子どもにとっての「本質危険」である」という逆説的で興味あるものとなった。その論旨は次の通りである。

- ① 遊具は本来、子供のさまざまな能力（危険を感じ、あるいは危険を予知する能力も含まれる）を向上させるものである。
- ② しかし、安全を第一義としたため、事故のたび遊具が撤去され公園から消滅した。
- ③ その結果、子供たちが本来子供時代に獲得すべき、危険に対する能力の低下を招いている。
- ④ それこそが「本質危険（広義）」である

(注記 『上位概念の本質危険とは』 近石)

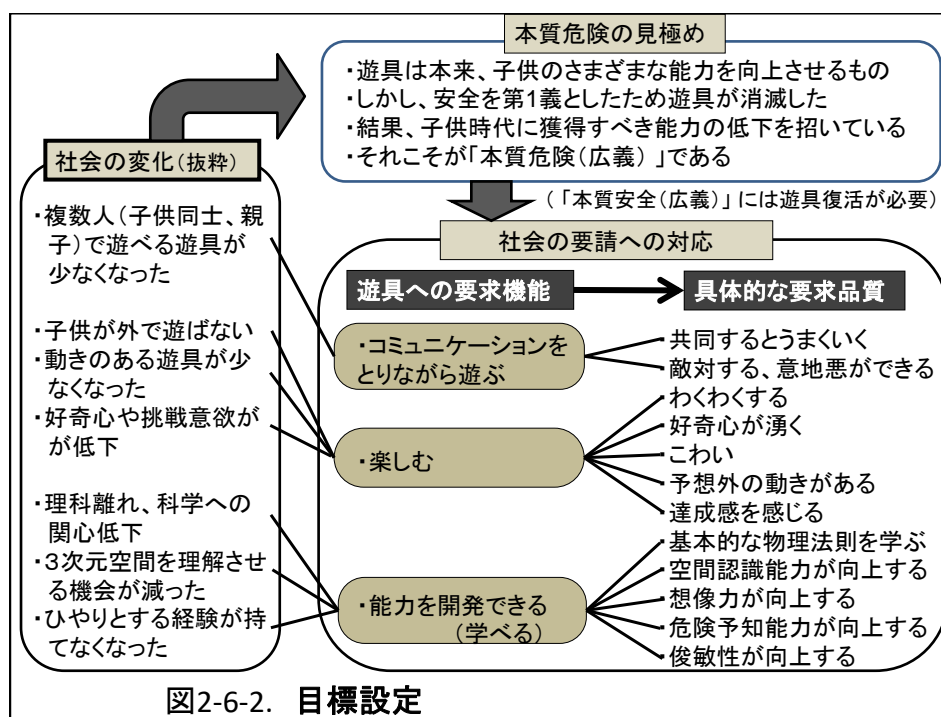
ここでの「本質危険」は個々の製品そのものの危険ではなく、遊具全体の置かれている環境についての危険を述べており、その意味では広義の「本質危険」といえよう。これに対し、個々の製品の狭義の本質危険は機能・構造を決めるときに改めて検討する必要がある。

したがって、遊具の「本質安全（広義）」への考え方は、まずは遊具を公園に復活させることであるが、そのための条件として子供がその遊具に興味を持つことが必須である。筆者らのグループ以前に工学院大学の学生で、畑村教授の授業で同じように「遊具作り」を担当したグループは、その中で「危なくない遊具を追求していくと、動きのない面白くない遊具になってしまう。面白い遊具であるためには、少しの危なさが必要である」ということをいっており、筆者らもこれに合意する。

以上のことを踏まえて、新しい遊具への要求機能として大きく次の 3 つを挙げた。

- ・ コミュニケーションをとりながら遊ぶ
- ・ 楽しむ
- ・ 能力を開発できる（学べる）

である。さらにこれを具体的な要求品質に展開したが、その詳細は図 2-6-2. を参照いただきたい。



(感想 『上位概念の「本質安全」』 中山)

広義の「本質安全」の議論ができたのは有意義だった。

「遊具作り」の設計過程で、遊具によって社会をどう変えたいのかという上位の議論から出発できたことは、「設計の思考過程」を議論してきた成果である。今回設計した遊具の一つの目的は、人が生きていく上で必要な能力を養成することであるが、私はこれから求められる商品は、まさに「人の能力を向上させる」ものやサービスであると思う。

技術の高度化により、生活は便利になり、仕事も効率的にできるようになったが、一方で、過度な自動化は人間が本来持っている能力を低下することになりかねないと懸念する。常に機械に頼ることによって、自ら考え判断する力や直観や気づき力が磨かれなくなっていると思う。

真に安全な社会を築くためには、人間が苦手なことは補うが、人間が本来持っている素晴らしい能力をさらに伸ばし、人が本領を発揮できるようにするものやサービスを提供することが企業に求められる。そのためにはまず人をよく知ることが大切であると思う。

次に「構造立案」であるが、発案者の畑村代表の実現したい遊具として強い希望

のものがあつた。それは彼が多摩六都科学館で見た遊具で、長い腕の先の座席に子供を乗せ上下運動と旋回運動をするもので、子供たちが列をなして乗りたがっていた遊具だが、駆動は電動モータを使ったものであつた。これと同じような動きをするものを、電力を用いず人力だけで動かせたいということである。

その具体例として、畑村代表が考えたものが図 2-6-3. の A 案である。



これはシーソーではあるが、左右対称という従来の常識を破って非対称にしている。ねらいは、親子が共に遊ぶシーソーで子供が喜ぶよう高く上げてやろうというものである。大人は錘代わりになると同時にシーソーの動きをコントロールする役割も果たす。また旋回機能も加えることで子供に空中を浮揚するような感覚を与えることができる。座席は急角度の腕から滑り落ちないように平行四節リンクにより水平保持されている。「本質危険」は座席と地面との間に人を挟むことにあるので、その対応策として座席と地面との間は最少でも 350mm を確保することを「本質安全」策とした。またその他の安全策として座席にはシートベルトを設けて落下防止を図ると共に、万一落下した場合に備えて、地面を弾性体で覆う等の対策も実施することにした。

A 案はしかし問題点がある。それはシーソーとして機能する二人の体重比の適正範囲が狭いことである。たとえば、腕の長さの比が 2:1 だったとすると大人が子

どもの2倍より少し重い程度が、大人が地面を蹴ってコントロールでき、かつ空中遊泳時間も長くとれる最適値である（シーソーの重量は考慮していない）。それより大人が軽いと大人が空中に浮いてしまって地面を蹴れない。逆に重すぎると地面を蹴る大きな力が必要となり、空中遊泳時間も短い。

そこで、その対策案として出てきたのがB案（図2-6-4.参照）である。

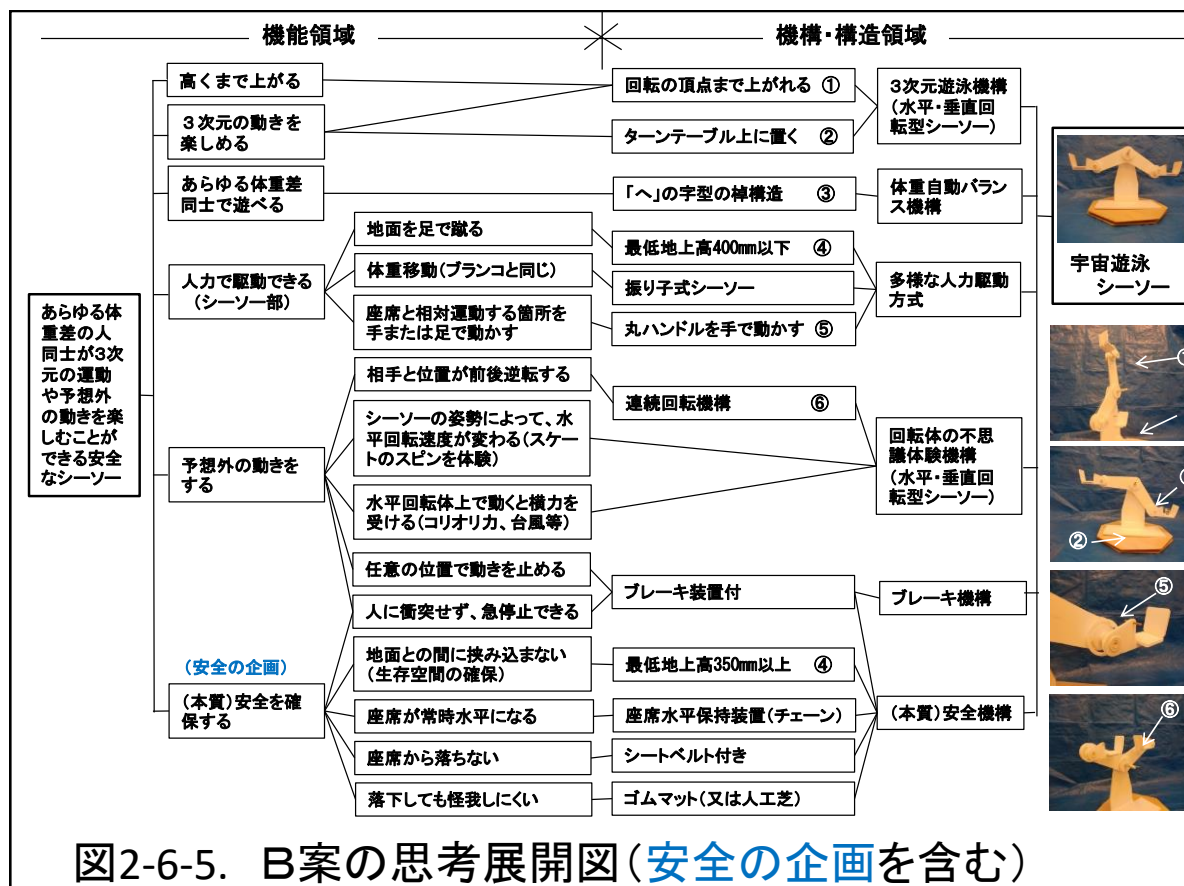


これは腕の長さは等しいがへの字型に曲がっているのが特徴である。への字にしたことにより、体重が異なる二人が遊ぶ場合、重い人が乗った座席は下方に動いて、中心からの水平距離は短くなる。逆に軽い人は上方に動いて中心からの水平距離は長くなり、両者のトルクが等しくなった時点で釣り合いが成立する。この構造だと二人の体重比がどのようなものであっても必ず釣り合う位置がある（極端に大人が重い場合大人側の座席は最下点にくる）。

この点を平衡点として前後に揺らせばシーソー（あるいはブランコ）となる。ただしそのためには、このシーソーが地面に当たって止まることがないようにすることが必要である。このように大きく回転するので、座席の平行維持機構は平行四節リンクではなく、スプロケットとローラチェーンの組み合わせにしている。

この構造にすると極端な場合連続してぐるぐる回ることも可能である。旋回機能は全体をターンテーブルの上に乗せて旋回させることで実現する。このように旋回しながら半径方向に移動するのでコリオリ力も働き、子供にとって今まで経

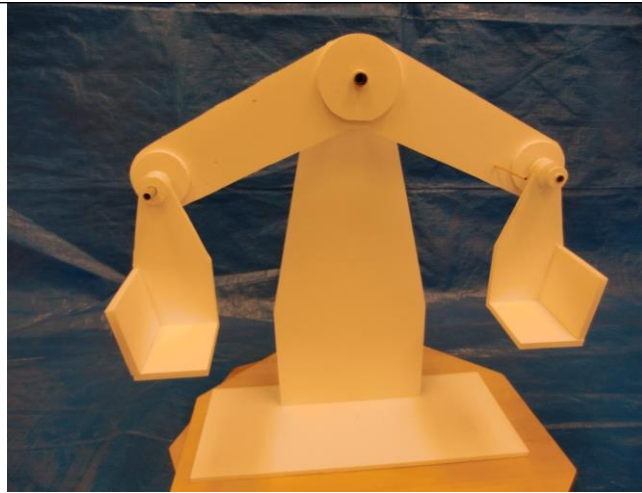
験をしたことがない不思議な力を感じることもできる。このB案の思考展開図を参考までに図 2-6-5. に示した。



B(改)案(図 2-6-6. 参照)はB案を改良したもので、座席の水平移動機能を外して座席を重力で下方にぶら下げる方式にしている。自由度がひとつ増えるので、動きが複雑になり操作も難しくなるが、それだけに上達する楽しさを味わうことができる。

ねらい

- ・B案の構造をより単純化してコストを下げる
- ・自由度を増すことにより、操作の複雑性を高めて、それを楽しむ



達成手段

- ・座席は重力により、ぶら下げる構造とする
- ・座席と相対運動する棹部を手または足で動かすことにより駆動する(座席と棹部の固有振動数の差を利用して、希望する側を駆動することができる)

図2-6-6. B(改)案

以上の他にもA案を改良したA(改)(図2-6-7.参照)およびC案(図2-6-8.参照)もあるが、説明は省略する。

ねらい

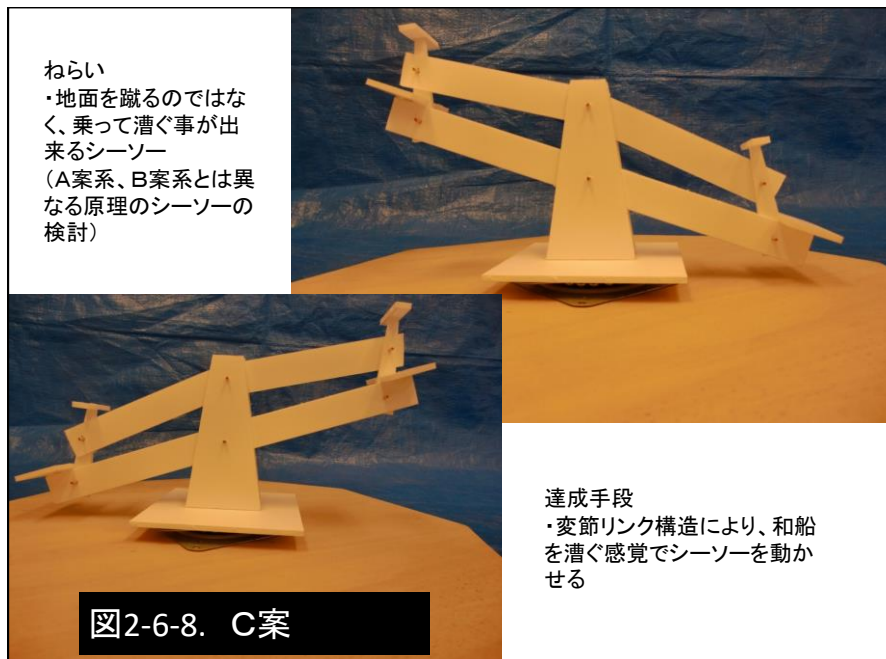
- ・A案の体重差の制約を解消する



達成手段

- ・親側の座席を前後に平行にスライド可能とする
- ・上記のかわりに、固定の水平座席を複数設けてもよい

図2-6-7. A(改)案



以上の 5 案を、当初の要求機能に対してどれだけ対応できたかをグループメンバー8名で評価したのが図 2-6-9. である。

・数値は要求品質(20項目)を1~5の5段階評価し、その平均値(数値の大きい方が評価が高い)
 ・評価者はグループ5のメンバー7~8名

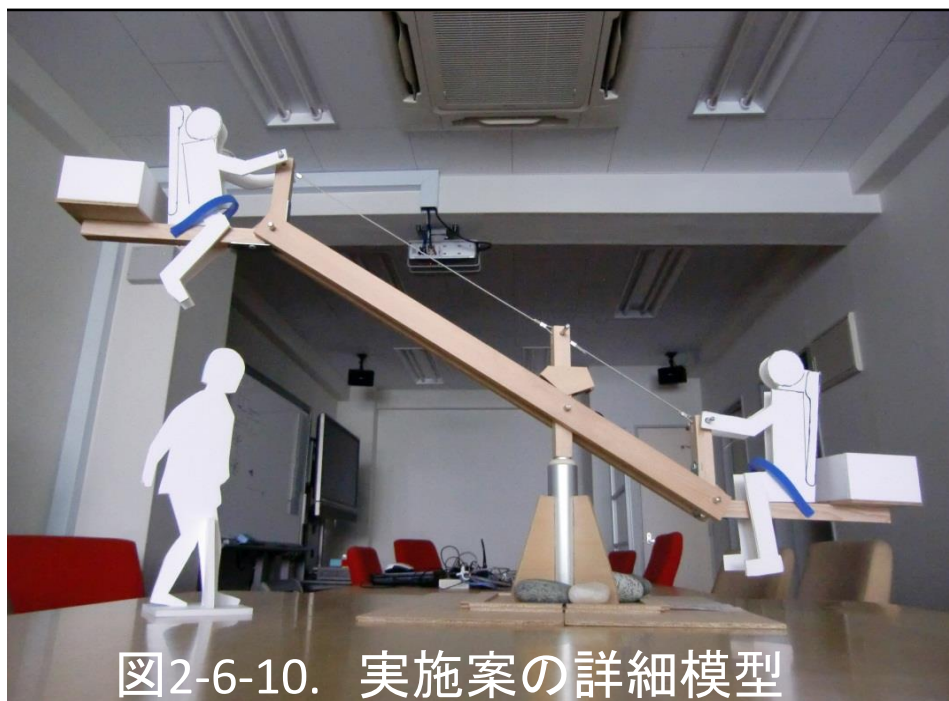
		A案	A(改)案	B案	B(改)	C案
要求機能への対応	コミュニケーション(2項目)	2.5	2.6	4.2	5.0	3.4
	楽しむ(9項目)	2.8	3.0	4.2	4.9	2.9
	能力開発、学べる(9項目)	2.6	2.7	3.7	4.6	2.8
(本質)安全						
コスト						
納期		来年度実施				
社会への普及						
総合						

図2-6-9. 各構造案の評価(中間評価)

この結果B(改)案の評価が最も高く、A案の評価が最も低いという結果がでた。

最終的な選定は、畑村代表やメーカー、ユーザ等の関係者で総合評価した。2011年10月2日の宮田村の商工祭に納入することが必達であったため、これを前提として、性能をはじめ、実現の難易度や開発にかかるコストやリスク等を考慮に入れて評価した結果、A案に決定した。ただし課題であった重量バランスは軽い側に必要なだけウェイトを載せることで調整することとした。

試作にあたっては、前述の原理模型よりもさらに詳細な模型を製作して設計に備えた（図2-6-10. 参照）。



また設計の途中段階で実際に人が乗れる簡易構造のテスト機を作って子供の反応や操作性などを実験した。この実験で判ったことが二つあった。一つは子供がこのような構造による上下運動と回転ホッピングシーソー運動を喜ぶということである。これは想定通りであったが、新しい発見もあった。それは、体重移動をしてバランス状態をコントロールし、空中にいる時間を増したりすることは大人にとっても面白いということであった。

しかし、新しい発見に対して、元の構想の平行四節リンクでは体重を前後に移動させてもバランス状態にはまったく変化がない。一方テスト機のように一本のリンクの場合は体重移動は効くが、座席の角度は変化して乗りにくい。そこで解決方法として両者の中間をとって平行ではない四節リンクを大人側のみに採用するこ

とにした。(図 2-6-11. 参照)



実機ができたときには、全体の評価と共に特に安全性の確認を行った。このような手順を踏みながら 2011 年 10 月 2 日に予定通り長野県宮田村の商工祭に搬入することができた。

お祭りでは、多くの子供や親たちが楽しんだ。高くまで上がることに最初は少し怖がった女の子もすぐに慣れてはしゃいだり、ぐるぐる回ることを喜ぶ子供たちなどにぎやかな一日となった。しかし、裏方は結構大変だった。特にバランスの調整はバーベル用の 10kg のウェイトを地上から 1m の高さまで上げたり下ろしたりする必要があり、これがかなりの重労働になった。シーソーに乗る人は子供同士の組み合わせが以外に多く、その場合はウェイトを特に多く積まなければならなかった。この点は今後改善すべきところだろう。

翌日、回転ホッピングシーソーは宮田村の近くにある木祖村の「こだまの森」に搬入設置され、ここでずっと使われることになるのだが、ここでのお披露目会となった 10 月 9 日開催の「秋の感謝祭」では、同時に設定された「新型遊動円木」や「リング型ブランコ」と共に、使用時における遊具の安全性について最終確認を行った。以上で本グループとしての活動は全て終え、後は 2012 年春のオープンを待つことになる。

以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次

のようなものである。

- 新しい製品を開発するには、最初に全体像を把握することが重要である。
- 常識や思い込みに捉われていては、新しい発想は出てこない。

2-7. 原子力発電所

原子力発電所は 2011 年 3 月 11 日の「東日本大震災」により発生した大津波が原因で水素爆発を起こして壊滅状態になり、放射能も漏れ出して住民が緊急避難するという大事故になった。ほぼ 1 年後の現在も住民の避難は続いている。この事故はその後の日本の原子力行政に大きな影響を与えているが、これから報告する内容はこれとは関係なく、事故の起こる前に本グループが検討していたことである。

筆者らのグループでは、「目標設定」開発ステップにおける「顕在化する本質危険を見極める」ため、メンバーが集まって各人が原子力発電所に関して「世の中の変化」、「世の中の要求」、「危険」の三つのテーマについて思いつくまますトイットに書き、これらを整理した（図 2-7-1. 参照）。

- ・ 世の中の変化、世の中の要求、危険、の三つの項目を思いつくまます作業を実施



図2-7-1.「原子力発電所」検討風景

この結果、新たに抽出された課題は図 2-7-2. に示す通りであるが、重要なものとして次の 2 つをとりあげた。

抽出された新たな課題

1. 想定外の大地震に対する対応
2. 発電所の機能(電力供給)維持
(システム全体での機能維持・施設の早期復旧)
3. 事故発生時の緊急避難措置・計画が不十分
(住民の避難訓練など)
4. 長年使われることによる安全の低下
(設備の劣化、新旧技術の混在、技術の伝承)
5. その他

図2-7-2. 原発の新たな課題を抽出する

- 想定外の大地震に対する対応
- 発電所の本来の役割である電力供給の維持

これらの課題が出てきた背景を以下に説明しておこう。

想定外の大地震が最大の課題として取り上げられた理由は、以下のような二つの地震を直近に経験したことにある。

一つ目は、柏崎刈羽原子力発電所の事故である。2007年9月1日に起きた中越沖地震（マグニチュード6.8）は想定外の大地震であり、稼働していた4つの原子炉が緊急停止したが、地震で壊れた変圧器から出火、消火栓が壊れるなどして消火体制がとれず、黒煙が上がる様子がテレビで大々的に報道された。最も揺れが大きかったのは1号機の原子炉建屋基礎版上の東西方向で、最大加速度680ガルが観測された。これは当初の想定である273ガルの2.5倍になる。さらにこの事故を契機に全国の原発の耐震性を再評価する際の揺れの強さを示す「基準地震動」を見直した結果、柏崎刈羽原子力発電所は当初の想定である450ガルを大幅に上回る2,280ガル（5.07倍）という値になった（全国では18か所で見直され、従来の想定平均1.6倍引き上げられた）。見直した値は1号機の原子炉建屋基礎版上では830ガル相当になり、東電では1,000ガルの揺れを想定して設備の耐震クラスに応じた耐震補強工事を実施している。

二つ目は浜岡原子力発電所の場合であるが、2009年8月11日、駿河湾沖を震源とする地震（マグニチュード6.5）が発生した。その際、浜岡原子力発電所では5号機の原子炉建屋基礎版上で最大加速度426ガルの強い揺れを記録し、5号機の原子炉はその後正常に停止した。400メートルしか離れていない4号機の163ガルや3号機の147ガルに比べ3倍近い加速度だったため、中部電力は地下1,500メートルまで掘削して調査を行った。その結果、5号機の地下300～500メートルに、地震の波を増幅しやすいレンズ状の堆積層が見つかった。今回の駿河湾の地震のようにある特定方向から地震波が到来した場合、5号機では3、4号機よりも大きく揺れる可能性があるという。この地震により、原子炉の安全機能は正常に働いたが、その他の装置には異常が見つかった。これらは2009年12月には全ての対応が完了し、保安院は駿河湾の地震後の設備の健全性は維持していると判断している。しかし、保安院の審議会は5号機の揺れが大きかった要因の調査の分析精度を高める必要性などを指摘しているため、中部電力は地震観測記録や地下構造特性の調査データの分析を進めている。

以上の2つの地震のケースは、

- 地震のような自然現象を相手にする場合、どうしても想定外の現象に遭遇することは避けられない。
- 地震に関する科学的知見が十分と言える域にはまだまだ達していないことを表している。

（補足 『次々と変わる想定』 近石）

読売新聞によると、『原子力発電所の耐震安全性を評価する経済産業省原子力安全・保安院の意見聴取会は2012年4月24日、日本原子力発電敦賀発電所（福井県敦賀市）の原子炉建屋直下を走る断層を現地視察し、「活断層の可能性がある」との見解を示した。

活断層の上には原発は建てられないとする国の基準に反する恐れがある。今後、原電は、この断層の活動性がないことを示さなければならず、原発の再稼働のハードルは極めて高くなった。

今回の調査を受けて、保安院は原電に対し、浦底断層付近での追加の掘削調査や地層の詳しい成分分析などを求めた。』とある。

このように、見直すたびに地震の想定が変わる。このような状況が続けていては住民の不安は解消しない。

(補足 『浜岡5号について』 匿名B)

2011年5月にいきなり当時の管首相が中部電力浜岡原子力発電所の緊急停止を命じた。地震に続く津波の影響による福島の問題に隠れてあまり議論されていないが、このとき複水器配管が破断し大量の海水が原子炉内に流入した。この原因は複水器内の再循環配管の直角曲げ部にあるエンドキャップ溶接部が疲労破壊し、エンドキャップが飛び熱交換用の細管を複数本破断したことによる。

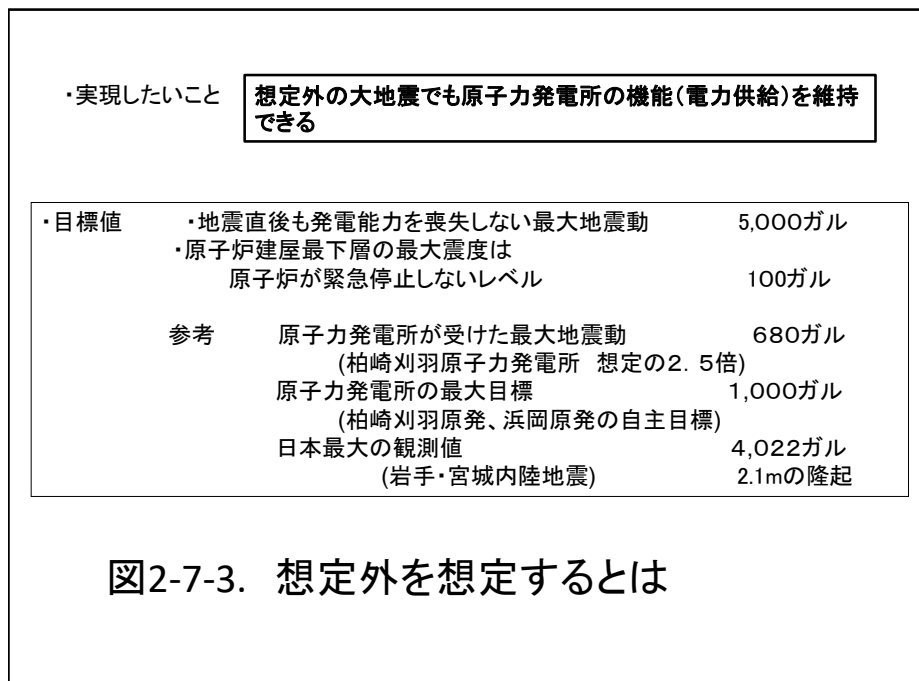
このトラブルはたまたま原子炉停止作業中に発生したもので、なんとか安全に原子炉を停止できたが、フル稼働中にも起り得たトラブルである。

軽水炉では機器の安全対策上、配管曲がり部には疲労破壊などに強い、曲げ管(エルボ)を用いた突合せ溶接とするのが一般的だが、浜岡5号ではなぜか直管同士をつなぎ、一方の管端部を疲労破壊等に弱い隅肉溶接によりエンドキャップで塞いだ構造としていた。

しかも、このエンドキャップ部が細管の正面にあるという、なんともお粗末な構造である。何故このような構造となったのかは不明だが、設計者が配管の機能のみに関心があり、その他の知識や万が一のイメージに欠けていたことは容易に想像がつく。また、設計図面は複数の上長が承認するのが一般的だが、この危険性に気づいた者がいなかった。

福島の非常用電源の場合は建設当時に想定していなかったことが要因として議論されている。一方、浜岡の場合は想定可能(半ば常識)な危険性が考慮されていなかったと考えれば、浜岡のトラブルは無視し得ない多くの問題を含んでいるように思える。

これらを背景に筆者らは原子力発電所の今後の課題として「想定外の大地震に対する対応」を第一に挙げた。では想定外とはどの程度を想定しているかを示した一例が図2-7-3.である。



この例では日本最大の観測値である 4,022 ガルより大きい 5,000 ガルとしている。前述した通常の想定である 1,000 ガルと比較すれば十分過ぎるくらい想定外といってもよいだろう。

第二の課題として、世の中の原子力発電所に対する要請という視点で見ると、個々の重要建屋や重要装置の耐震性ではなく、トータルとしての原子力発電所が本来の役割である電力供給を維持できることであるとした。例えば、地震により個々の装置に不具合が生じても直ちに交換できるようにすることも手段のひとつである。

以上を整理して、原子力発電所において今後顕在化するであろう「本質危険」は、「想定外の大地震で原子力発電所のシステムがダウンし、本来の役割である電力を送れなくなることである」とした。

そして、筆者らが目指すべき「本質安全」は「想定外の大地震でも本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」とした。

(補足 『原子力発電所の「本質危険」』 近石)

原子力発電所の「本質危険」をここで再整理すると下記の通りである。

- ・高エネルギー：原子力発電所はそもそも高エネルギーの電力を生み出すものであるから、その過程も高エネルギーのオンパレードである。原子炉の高温・高

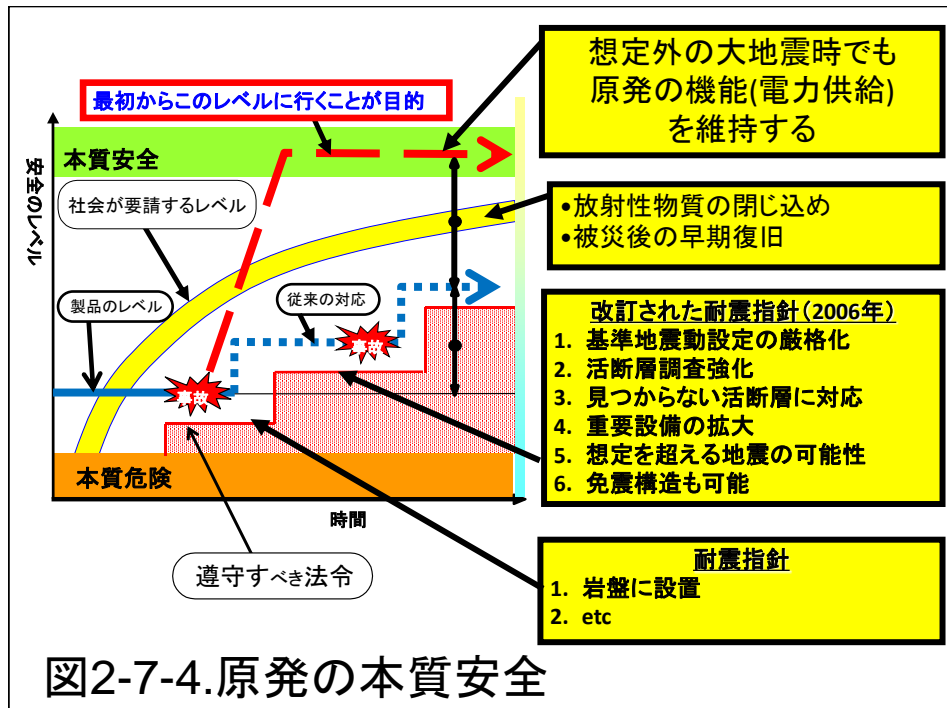
圧・大熱量から始まり、タービン・発電機は運動エネルギーが大きく、生み出された電力は高電圧・大電流である。

- ・大量の放射性物質：言うまでもなく、原子炉圧力容器の中には大量の放射性物質が入っている。また原子炉圧力容器の外部にも使用済み燃料棒を冷却するための冷却用プールの中に大量の放射性物質がある。
- ・重要社会インフラ：原子力発電所は重要な社会インフラであること、およびこれが機能しなくなった場合、社会に重大な被害を与える。危険を個人に限定するのではなく、社会に対する危険も含めると広義の「本質危険」であることは今回の事故で証明された。真夏の電力需要期には企業や各家庭で節電を余儀なくされ、人の命を預かる病院や連続作業を必要とする工場も停電の可能性に怯えた。
- ・巨大システム、複雑システム（例；鉄道、航空機、東証、銀行の決済システム）：巨大システムや複雑システムは前述の重要社会インフラと重なるかそれに準ずることが多い。その意味でまず「本質危険」の要素を持っている。しかも巨大システムに今回の事故のような事故が起こる場合を想定すると、誰か一人は巨大システムの「全体像」を把握していることが必要である。また同時に核反応として原子レベルでの「マイクロメカニズム」にも精通していることも同時に要求される。その「全体像」と「マイクロメカニズム」が一人の頭の中で総合されていて、その上で、その人に正確な情報が入ることによって、初めての的確な判断ができる。今回の事故では、温度センサが役に立たなかったこともあって、その全体の状況を的確に把握することが、難しかった。いついかなる状況下でも、以上の条件を整えておくことは難しい。その意味で、巨大システムは社会にとって「本質危険」を持った存在であると言える。

このように見えてくると、原子力発電所は上記全てに当てはまるということで、極めて特異な存在である。

ここで以上を前述の「活動の概念図」に基づいて考えてみる。

図 2-7-4. は前述の図 1-2-1. を原子力の例で書き直したものである。



従来の対応は青い線で示されている。1981年に設定された耐震の指針として

- ① 重要な建物・構築物は岩盤に支持（いわゆる岩着）させなければならない。
- ② 原子炉施設を重要度に応じて、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、Aクラス、Bクラス、Cクラスの3段階（なお、Aクラスのうち最重要であるものはAsクラスに分類される）に分けられ、それぞれに応じて設計上の地震力が規定される。

というものであったが、耐震の指針は2006年には改定された（詳細は図2-7-4.参照）。柏崎刈羽原子力発電所の事故後、新指針に基づき国中の全原発周辺の断層を見直した。その結果、全原発で新たな活断層が見つかり、揺れの想定値を平均1.6倍に引き上げた。このように、安全のレベルは一步一步階段状に上がっている。

筆者らはそれとは異なるアプローチも試みる。それはいきなり理想状態である「想定外の大地震でも、本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」を目指すことである。もしこれを実現する構造があるとするれば、それは「本質安全」構造といえる。

ここで少し寄り道をして「上位概念へ上る」ことを考察してみよう。

「想定外の大地震でも、機能（電力供給）が維持できる原発」は原子力発電所のあるべき理想形を表現したもので、単に機能の上位を示したのではない。このように機能から離れてさらに上位の概念を表現することにより、後述するように現状の

原子力発電所の構造から離れた新しい概念の原子力発電所のアイデアが出てくる可能性が高い。このような理想形を表現することを「実現したいこと」として機能より上位に位置づけた。

(コメント 『上位概念の「制御安全」とは』 近石)

このように基準地震動という変動する数値に基づき、それに適合した安全を目指すのも上位概念の「制御安全」と言えるのではないか。前述のように社会にとっての危険も含めるとして、上位概念の視点で定義を見直す

- 上位概念の「制御安全」; 得られた情報に基づいて、コントロールすることにより、確保される人間または社会の安全
- 上位概念の「本質安全」; 何もコントロールしなくても、本来の状態確保される人間または社会の安全となる。

この「実現したいこと」である、「想定外の大地震でも、本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」を新たな目標にして具体案の検討を進めるに当たり、2つの考え方がある。Ⅰ案は現状技術の延長になるが、「原発の各建物や装置・機器類の耐震の裕度を大きく取る」ことである。Ⅱ案は、従来とはまったく方向が違うが「地面からの揺れを遮断する」ことである。

Ⅰ案は原発を構成する要素全てを対象にして裕度を上げることになる(A案とする)。柏崎刈羽原子力発電所の被害状況を見ると、周辺機器が相当被害を受けている。東電は想定するレベルを上げて、それに耐えられるよう補強工事を進めているが、筆者らが想定外といているのは、この想定にも収まらない気がするからである。その場合のコストはさらに上がりそうである。ここでは、この案はあまり本命ではないのでこの程度にとどめておく。

Ⅱ案としてはいくつかの方法が考え得る。ひとつは免震構造である(B案とする)。現在実績があり、ビルや振動をきらう工場をまるごと巨大なゴムのブロックの上に載せることが行われている。しかしこの方式の欠点は横方向の揺れは吸収するが、上下方向の揺れに対しては対応できないことである。したがって直下型地震に対しては弱いということになる。この欠点を解決しようと電車などで使われているエアーススペンションの巨大なものを作ろうという動きもあるが、ゴム強

度などの問題が多く現在のところうまくいっていない。

Ⅱ案のもう一つの方法は、原子力発電所全体を大きい浮体の上に載せるという案である（C案とする）。この案は日本で2000年頃に「海上立地浮体式原子力発電所」として検討を進めてきたことがあるが、実現するには至っていない。

この案からさらにアメンボのように浮体と水との間に空気層を設けることにより、水平方向および上下方向ともに地面の揺れに対してC案よりさらにサスペンションが効いた構造にすることができる（D案とする）この案はC案と比べて構造がほとんど同じで、免震効果は大きいという特長がある。

上記4案で検討を進めた結果を比較したのが図2-7-5.である。これによるとD案が総合的に優れている。

×; 悪い ●; やや良い ○; 良い ◎; はるかに良い

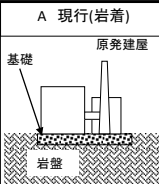
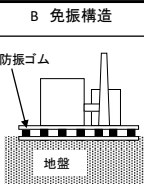
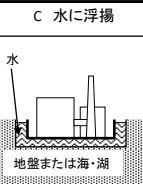
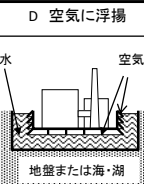
	A 現行(岩着)	B 免振構造	C 水に浮揚	D 空気に浮揚
構造				
視点1 想定外の巨大な揺れに対応できるか	基準 ・剛構造では揺れが直接伝わるので厳しい	● ・横方向の揺れは吸収するが上下に硬い ・振幅が小	○ ・水平方向、上下方向とも効果大 ・水を介した衝撃は伝わる	◎ ・理想的 ・振動、衝撃は伝わらない
視点2 製品として品質・コストのバランスはよいか	基準 ・品質を確保するためにはコストがアップする	× ・防振ゴムのコストが高い	○ ・品質・コストがバランスよく安定	○ ←
視点3 社会のニーズ(32基/年の大量供給)に応えられるか	基準	●	○ ・同一品で量産可 ・ドックで生産し、曳航して世界各地へ納入可	○ ←
視点5 立地の制約はないか	基準 ・岩盤地のみ	● ・陸地	○ ・海陸可能	○ ←
その他	—			・微細加工工場にも適用可能
総合評価	基準	●	○	◎

図2-7-5.想定外の大地震でも機能が維持できる原発

その後、上記とは別のE案が生まれた。その経緯を紹介すると、上記B案のなかで電車に用いるエアサスペンションの大型のものを研究している例を紹介したが、この研究の問題点は数気圧の空気をゴムで閉じ込めることができるかという点であった。電車に用いる程度の大きさでは実現できても、これより1桁も2桁も大きいものを作ろうとすると、ゴム強度がもたないのである。仮にできたとしても原子力発電所全体を支えるには膨大な数が必要となってコスト面でも難しい。そこでこの対策として原子力発電所全体を空気で浮かせて、その周りを水でシー

ルできないかというのが着眼点であった。もう一つの着眼点は上記C案やD案では、陸上に設置する場合、浮体がスッポリ入る大きいプールか貯水池を必要とする。このプールを掘る土量はかなりの量になるのでこれを軽減できないかという点である。この2つの着眼点で出てきた案が空気浮揚式（E案）である。

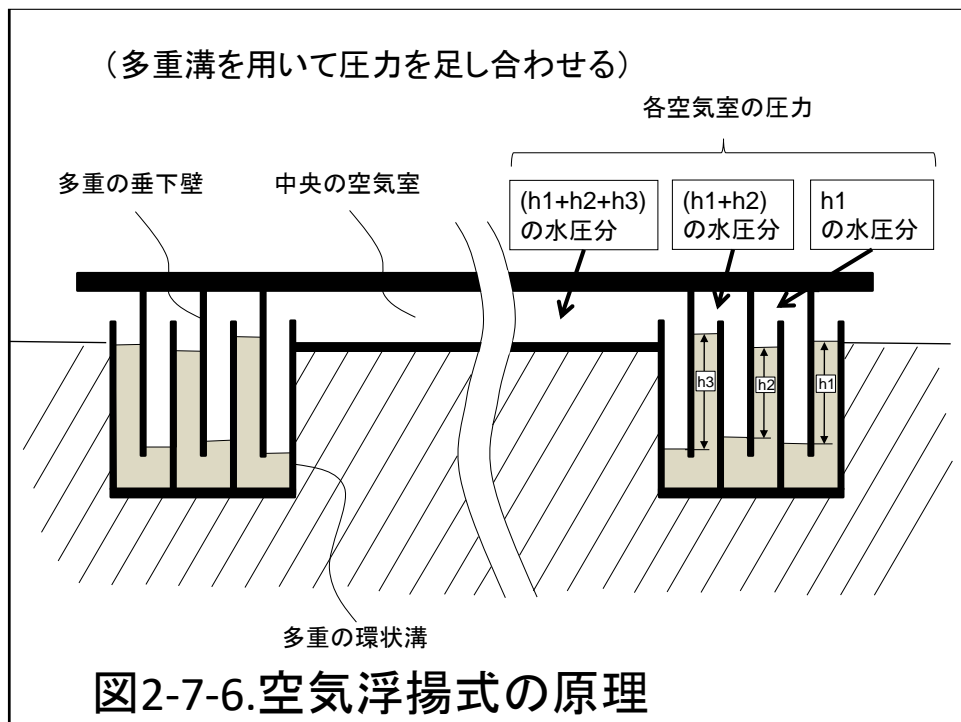
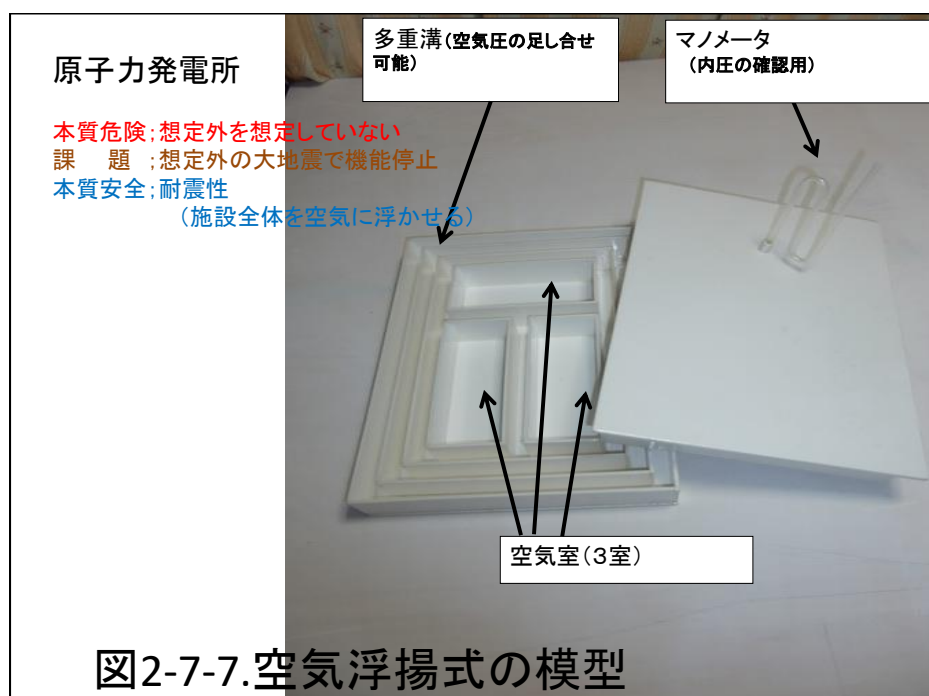


図 2-7-6. で簡単に原理を説明すると、原子力発電所全体を1つのプラットフォームに載せ、その外周下部に設けた多重の垂下壁を、水を張った多重の環状溝に載置する。そして中央の空気室に空気を入れていくと各環状溝に水位差が生じ、中央の空気室の圧力は各水位差を合計したものになる。従って多重であるほど、各溝の深さは浅くすることができる。また中央の空気室は面積が広大なので、比較的低圧の空気圧（2～3気圧程度）で施設全体を支えることができる。D案と同様に水平方向および上下方向共に地面の揺れに対してフリーになるが、D案のような深く巨大なプールは不要で、環状溝だけをつくれればよいことになる。また圧力空気のシールにゴム等を使う必要がないのでコスト的にもメリットがある。この原理は図 2-7-7 の模型を作って原理が成り立つことを確かめた。（詳細は特許出願の特願 2009-245460 参照）



以上のA案からE案を総合的に比較した結果E案が最適案ではないかと考えるようになった。(この時点では、まだ東日本大震災は起こっていなかった)

(提案 『独断と偏見による「これからの原子力発電所」』 近石)

このテーマに取り組んだときは、東日本大震災はまだ起こっておらず、津波が原因により原発が壊滅状態になるとはまったく想定外であった。しかしこれは極めて大きい変化である。従来潜在化していて問題と認識していなかった津波の脅威が今回の地震で「本質危険」として国民全ての前にはっきり顕在化された。この大きな変化を経験した今、改めて原子力発電所の望ましい立地場所とその構造を考えてみた。ただし、原稿を書きながら思い立ったことなので、グループメンバーとの議論を行っておらず、まったくの独断と偏見であることを予めお断りしておく。

検討した結果、水深の深い沖合に浮上式の原発を設置する(「沖合浮上式原子力発電所」と称する)のが最も望ましいのではないかとと思うようになった。先ほどの各案の中のD案の構造を海に浮かべたものになる。理由を以下に示す。

(1) 次のような特長を有し、「本質安全」構造として最適である。

① どのような想定外の大地震に対しても、地盤の揺れを遮断できる。

(D案のように、浮体はその下部に空気層を抱える構造にすることも容

易で、その場合は、水に浮かんでいる効果だけでなく、超大型の空気ばねの上に乗っている効果も合わせて期待できる。この構造であれば、図 2-7-3. で想定外の大地震を想定した最大地震動 5,000 ガルでも原子炉が緊急停止しない 100 ガル以下は実現できるのではないかと思われる。他方、原子力潜水艦は緊急浮上など 100 ガルよりもっと厳しい使われ方をしていると思われる)

- ② どのような想定外の津波でも、水深の深い沖合では海面の変化が極めて小さい。

・今回の東日本大震災では、沖合に設置した複数の GPS 波浪計で津波の状況が記録されている。独立行政法人港湾空港技術研究所発表の「平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の GPS 波浪計による観測結果について」によると「最大の津波を観測したのは、岩手南部沖（釜石沖合約 20km, 水深 204m) の波浪計で、15 時 12 分に 6.7m を記録した。時間変化で見ると最初の約 6 分間で 2m 程度上昇した後に、続く約 4 分間でさらに 4m 以上も急激に上昇した」とある。津波の進行速度はこの深さだと 44.7m/s 【= $(9.8\text{m/s}^2 \times \text{水深 m})^{1/2}$ 】なので、津波の形状は約 11km の水平距離で 4m 上がる形となり、海岸に怒涛となって押し寄せる津波とはまったくイメージが異なるものであることが分かる。また、上下方向の変化も 4 分間で 4m の変化 (1.7cm/s) なので、船に乗っていたとしても、どちらの変化にもまったく気が付かなかったであろう。別の例えでいうと、時速 160km (44.7m/s) の新幹線に乗車して水平に走った後、4 分間で 4m 上昇するとき感じる変化に相当するといえ、その変化の小ささがイメージできるだろう。むしろ、後述する台風などの自然外力の方が変化はるかに大きい。

- ・漁師仲間では、大地震がきて津波のおそれがあるときは「沖出し」と称して船を沖に避難させるところもある。水産庁では 2006 年 3 月に策定した「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」で、地震・津波への対応方法を以下のように示している。

「沖合で操業・航行中の漁船は直ちに一次避難海域へ避難する。一時避難海域は、概ね水深 50m 以深の海域を目安として設定」

とある。

- ③ 原子力発電所の周辺に人が住んでおらず、万一放射能が漏れることがあっても影響が小さい。（福島原発の事故では半径 20km 圏内は避難対象になっている）
- ④ さらに重大な危機に陥ったときは、浮体を遠方へ移動させることができる。たとえば、時速 3km で移動させると 1 日で岸から約 100km の地点に位置することができる（平時は岸から 30km の位置にいたとして）。
- ⑤ 緊急時でも豊富な海水を使って炉心を冷却できる。

福島第一原子力発電所の事故では、メルトダウン後の処置として、原子炉格納容器内部を水で満たして原子炉を継続的に冷却するいわゆる「水棺」を検討したとのことである（米国でも冷却水を喪失した重大事故時に取り得る手段として研究されている）が、原子炉格納容器を海面下になるように配置しておく、万一のときは電源がなくなった場合でも、重力のみで原子炉格納容器内を、海水を使って水棺状態にすることが出来る（ただし、海水を使うと炉の腐食による廃炉を決意しなければならないので、必要量の真水を格納容器より上の位置に溜めておき、緊急時はそちらを優先して使うのが妥当であろう。海水を使うのは最後の手段である）。また使用済燃料プールも同様に海面下に配置しておく、万一の場合でも水が無くなって燃料棒が露出する心配はない。

以上のように、想定外の自然災害時でも、今回の事故のような被害を受ける可能性は少ないので、人にとっては安全である。また社会にとっても、電力供給という本来の役割を果たすことが出来、上位概念の「本質安全」構造であると言える。

(2) その他のメリットも多い。

- ⑥ 用地買収や地元対策がいらないので、開発期間・コストとも有利である。
（漁民に対する補償の問題は残るが、今後海洋は風力発電や波浪発電、メタンハイドレートの開発等が予想されており、漁業だけでなく、これらの活動も可能なような共存体制を構築すべきであり、沖合浮上型原子力発電所もこれらの活動の中に位置づけられるのではないだろうか）
- ⑦ 基準地震動や岩盤深さ、津波高さなど、立地する土地特有の事情に合わせる必要がないので、単一仕様で量産できる。このため品質保証がしや

すいし、コストも下げられる。また納期面でも有利である。

- ⑧ 冷却水は真下から容易に取れるので、長い取水路は不要である。また、沖合に設置するので温排水などで漁業に影響を与えることもない。
- ⑨ 耐震性は不要なので、装置や部品は市販品を使えるケースも多いと思われる。装置や部品のコストは下げられる（ただし、塩分による錆の問題はある）。
- ⑩ 曳航できるので、製作や廃棄の処理も適切な場所で行うことができる。また輸出も完成品のまま海外の設置場所へ運ぶことができる。
- ⑪ 新しい商売の可能性もある。例えば、原発浮体を後進国の海岸へ運び、厳しい管理・運営や廃棄は全て日本が行って、電気だけを売る（電気の出前）など
- ⑫ 陸上に設置することもできる。その場合は、浮揚式原子力発電所がそっくり入る大きいプール（または貯水池）を作り、その中に浮かせればよい。（揚水発電所がある場合は、上下の貯水池に浮かべてもよい。その場合は、原発の夜間電力をその場で揚水に使えるので、従来のように原子力発電所と揚水発電所相互間の長距離送電が不要になる）

など品質・コスト・納期の全てに有利に働くことが多い。

(3) デメリットとしては下記がある

- ⑬ 前述の通り、津波や地震の影響はほとんどないといえるが、それに代わるものとして台風や潮流等の自然外力を考慮しておく必要がある。同じく海洋の大型構造物である掘削リグは、メキシコ湾のように超大型ハリケーン（最近の例ではカトリーヌがある）やループカレント（max. 5 ノット）と呼ばれる激しい潮流などの厳しい条件下で次第に大型化しており、これらの技術が参考になるとと思われる。

実績としては、アンカー係留方式では、メキシコ湾で 2005 年に記録された 2805m があり、DPS (Dynamic Positioning System) を装備したドリルシップ (Drillship 掘削船) では同じくメキシコ湾で 2003 年に樹立された 3051m がある。

参考までに、日本船舶海洋工学会で検討された「大規模海上浮体施設の構造信頼性および設計基準研究委員会」の最終報告書によると、設計波高等は最大時に有義波高 12.5m、有義波周期 15.0s、波長（有義波周期

相当) 351m, また設計風速は 50m/s (最大瞬間風速 80m/s) である.

(注; ある地点で, 連続する波を観測したとき, 波高の高いほうから順に全体の 1/3 の個数の波(例えば 20 分間で 100 個の波が観測されれば, 大きい方の 33 個の波)を選び, これらの波高および周期を平均したものを有義波(有義波高, 有義波周期)と言う. 1000 個の波を観測した時に見られる一番高い波は, 平均的には有義波高の約 2 倍になる. すなわち, 最大波高は 25m 程度を見込む必要がある.)

- ⑭ リスクのうち大きいのは, テロの攻撃に対しての防御が陸上よりは不利という点, および攻撃により沈没する可能性がある点である.

この件で参考になるのは, 原子力空母である. 原子力空母は魚雷・爆雷・対艦ミサイル等の攻撃を受けることや, その結果沈没することも当然想定内のことと思われるので, その対応策(詳細不明)は参考になると思われる. また原子力空母の場合は, 多数の戦闘機を搭載し, かつ多くの乗組員を収容するために, 空間的な制約が多いと思われるが(原子力潜水艦の場合はもっと制約が多い), 原子力発電所の場合は, そのような制約がなく, 対策が取りやすいはずである. 例えば, 浮体の周囲に十分な容積と多数の空気室からなる防御ゾーンを設けることも容易である.

参考までに両者の規模を比較してみた.

項目	単位	沖合浮上式 原子力発電所	原子力航空母艦 (ニミッツ級)	備考
原子炉型式		ABWR (沸騰水型*1基)	A4W (加圧水型*2基)	
熱出力	万KW	393	120~180 (2基の合計)	
電気出力	万KW	136	40~60 (2基の合計)	
総重量	万ton	50~70	10.2 (満載時排水量)	
全長*全幅 *喫水	m	300 * 180 * 25	330 * 41 * 12.5	
建造費	億円	(3,600~4,200) (柏崎刈羽原発の場合)	4,960 (62億USDドル)	80円/USDドル として換算

図2-7-8.沖合浮上式原子力発電所と原子力空母の比較

図 2-7-8. で分かるように、沖合浮揚式の場合の原子炉の規模はニミッツ級の原子力空母の 2 から 3 倍程度であり、大体同クラス（桁違いではない）であるので、その意味では沖合浮揚式原子力発電所は可能性があると見えよう。

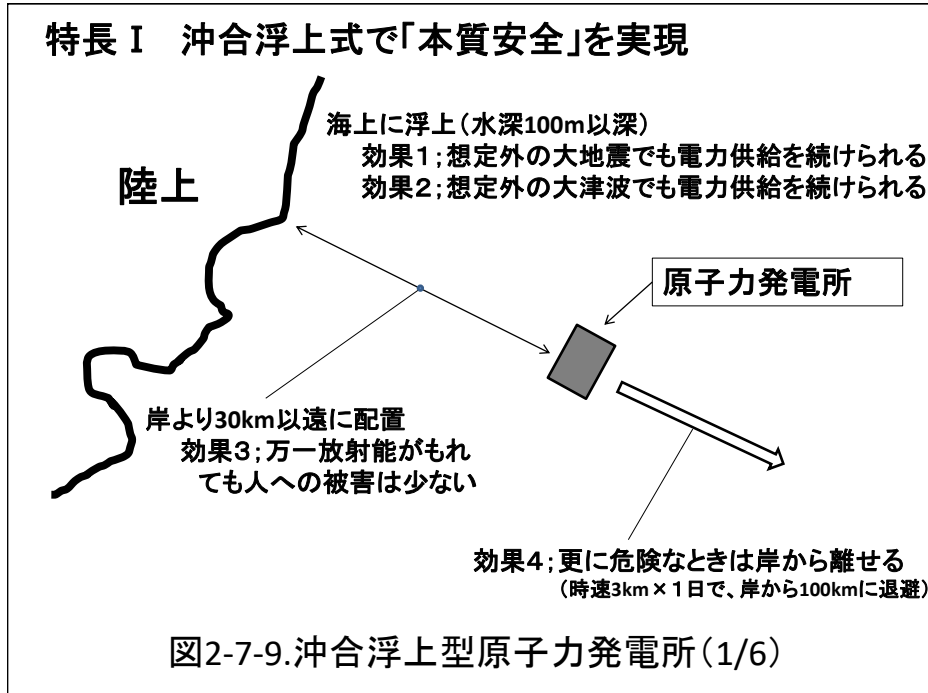
- ⑮ 海上に原子力発電所を浮かべる場合、各国の反発が気になるが、これも原子力空母や原子力潜水艦がすでに実績として運用されており、またロシアはすでに海上浮揚式の原子力発電所を持っているという情報もあるので、それほど問題はないと思われる。

以上で原子力発電所として、大まかではあるが目指すべきところ（開発ステップでいうと「目標の設定」のステップ）が見えてきたので、具体的に原子力発電所の本質安全構造を独断と偏見を省みず企画した（開発ステップの「安全の企画」に相当）。（図 2-7-9. から図 2-7-14. を参照）

内容はこれまで述べてきたことと重なることが多いが、構造の検討を始める前後の思考過程を示す意味でもう一度記載する。

「沖合浮上式原子力発電所」の構想

特長 I. 沖合浮上式で「本質安全」を実現（図 2-7-9. 参照）



最初に本質安全の基本構造として「岸から 30km 以上離れた沖合の、水深 100m より深い海面に浮体式の原子力発電所を浮かべる」ことにした。これにより、どのような想定外の大地震でも地盤の揺れが浮体にまで及ぶことはない（特に海底の水平方向の揺れは水上の船などにはほとんど伝わらない）。仮に浮体の真下で発生する直下型地震の場合でも、浮体の下面に空気バネ室（高さ 5m）を設けているので、ここで緩衝される。（図 2-7-11. 参照）

特長Ⅱ 重要施設の周囲を大きい保護ゾーンで保護

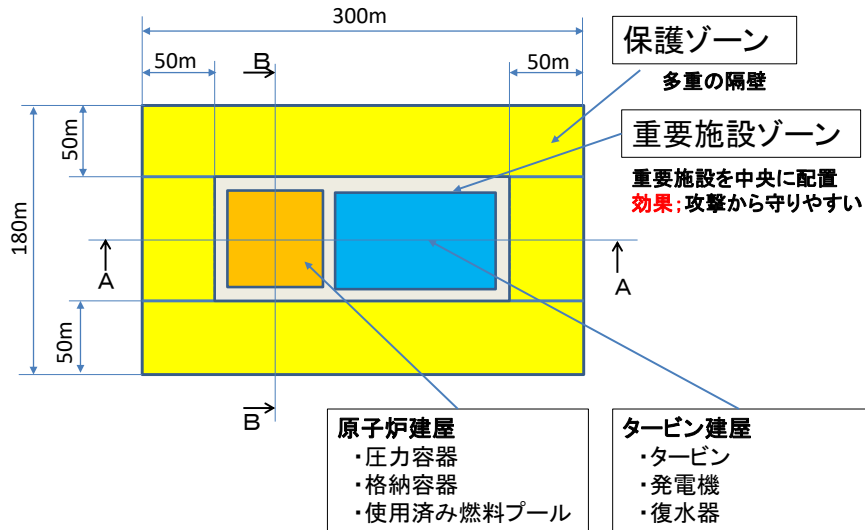


図2-7-10.沖合浮上型原子力発電所(2/6)

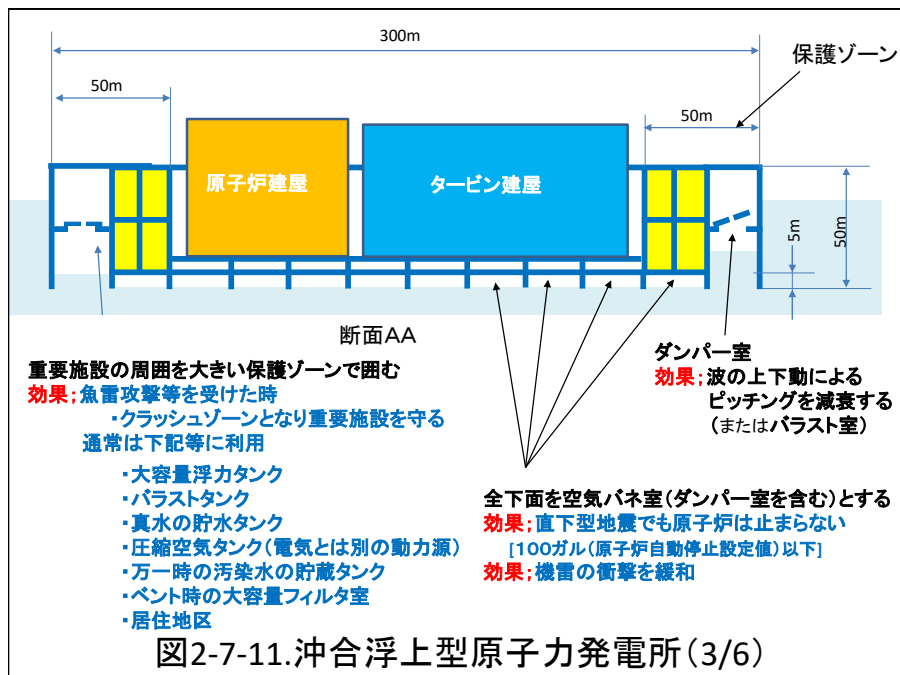
また、水深の深い所に浮体を配置したので、前述のように、どのような大津波でも浮体への影響はほとんどない。水産庁の漁船へのガイドラインは50m以深であるので、浮体の高さも考慮して、仮に水深は100mとしたが、さらに深い方が津波の影響は小さくなる。

このように、どのような大地震や大津波でも浮体はその影響を受けることなく安定しているので、原子力発電所の本来の役割である「電力を供給する機能」は大災害時でも問題なく維持できる。すなわち、上位概念においても「本質安全」であると言える。

また、他のなんらかの理由で放射能が漏れることがあったとしても、岸から30km 離れているので、人への被害や、大地が汚染されることも少なくなる。万一重大な事故が起こって危険な場合は、浮体側を移動させてさらに遠くへ避難させることも可能である。移動速度を時速3km とすると1日で（最初の30km とあわせて）約100km 岸から離れることができるので、今回の事故のように多くの人々が避難したり、地面が汚染されるおそれはなくなる。（ただし、万一事故がおこると、漁民には迷惑をかけることになる。その場合のリスクは、危害の発生確率とその危害の重大さとも今回の事故よりはるかに小さくなると思われるので、その場合は、十分な補償をすることを前提になんとか了解し

てもらえないだろうか)

特長Ⅱ. 重要施設の周囲を大きい保護ゾーンで囲う(図 2-7-10., 図 2-7-11. 参照)



原子力発電所には、特に守るべき重要な設備がある。それは言うまでも無く、内部で核反応をしている压力容器*2(*2; H P 掲載時の修正 原子炉压力容器(専門用語) 修正理由; 誤記)とこれを収容している格納容器や原子炉建屋である。また、使用済燃料プールもこれに準ずると考えられるが、これも通常は原子炉建屋内にある。

一方、浮体式として考慮すべき自然外力としては、地震や津波より台風等の影響のほうが大きい。前述のように設計波高等は最大時に有義波高 12.5m (最大波高約 25m), 有義波周期 15.0s, 波長(有義波周期相当) 351m とあるが、浮体の大きさは、180m×300m 程度を想定しているのので、ピッチングのような揺れの影響が大きいと思われる。浮体の大きさは図 2-7-8. にあるように、原子力空母と較べて、全長は同程度、幅は 4~5 倍あるので、転覆する懼れはないが、揺れによる加速度で原子炉が停止することがないように、配慮が必要になるかもしれない。

また、浮上型の原子力発電所のリスクで大きいのは、テロ等による破壊活動

と思われる。魚雷や機雷の攻撃については、陸上の原子力発電所と較べて明らかに不利な点なので、対策を十分に施すことが必要と考えた。

以上のことを考慮して、浮体式の基本構造は、図 2-7-10. のように、最も重要な設備である原子炉建屋および次に重要なタービン建屋を浮体の中心に配置し、その周辺をいくつもの役割を持つことが出来る、十分な大きさの保護ゾーンで囲むことにした。

保護ゾーンのひとつの役割は、十分余裕のある浮力を保持し、台風などの大波に対して、ピッチングなどを起こさない安定した浮体を提供することである。そのため、最外周部はダンパー室として図 2-7-11. のように、ダンパー室を設けた。

ダンパーの原理は、車の車輪のついている油圧式のダンパーと同じ原理を空気式にしたもので、ダンパー室は上下 2 つの室の間を上方向だけに開く小さな穴のあいた蓋で閉じられている。高い波がきて、ダンパー室下部の水圧が上がると、下室の空気が圧縮されて蓋を押し上げて上室に圧縮された空気が流れ込む。波が通過して、水面が下がると、ダンパー下部の水圧がさがり、蓋は閉じる。そして上室の圧縮された空気は小さい穴を通して、下室に戻る。このサイクルを通して、浮体はピッチングの初期の動きが空気の圧縮により、緩和されるとともに、戻り時に空気の圧力エネルギーが小さな穴を通ることによって、熱エネルギーに変換され、その分減衰する。これらは車のダンパーと同様、特別な制御は不要である。さらに揺れを減衰する必要がある場合は、バラスト室に海水を出入りさせる制御を行うことで可能になる。

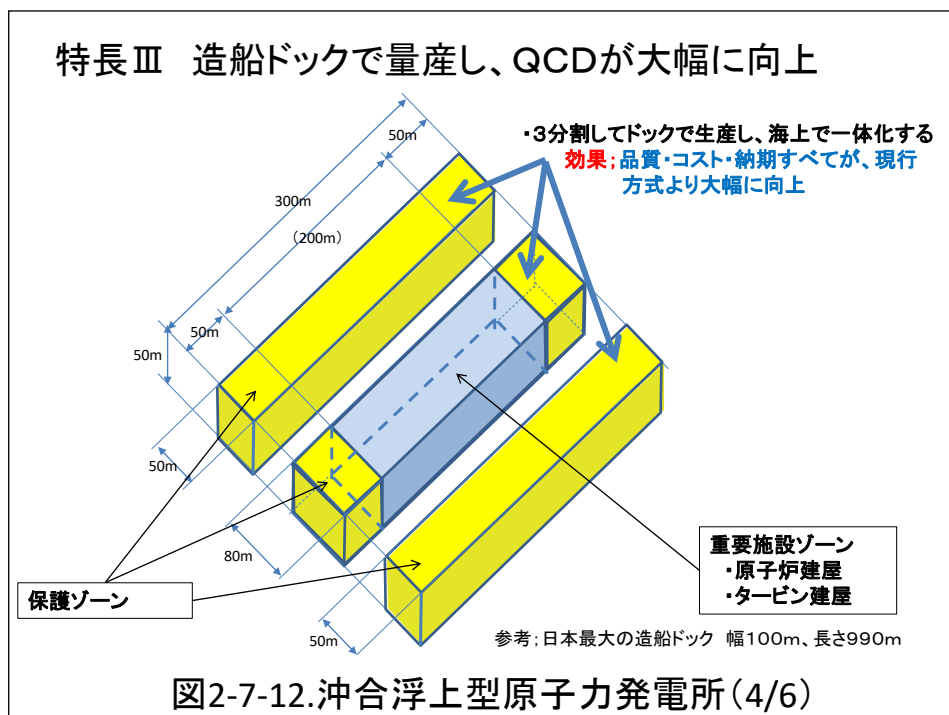
次に、テロへの対応については、ダンパー室を含めた保護ゾーンを多重の隔壁を設けることにより、仮に魚雷の攻撃を受けても外側の数層がクラッシュゾーンとして被害を受けるだけで、重要施設への影響はない。このような空間をタププリとすることで、別のメリットも出てくる。

その他の用途としては、下記が考えられる。

- ・ 真水の貯蔵タンク
- ・ 万一時の汚染水の貯蔵タンク
- ・ ベント時の排出空気を通す大フィルタ室
- ・ バラストタンクとして、姿勢や深さの調整

- ・ 非常用ディーゼル発電機の燃料タンク
- ・ 廃棄物の処理
- ・ 居住区

特長Ⅲ. 造船ドックで量産し、QCDが向上（図 2-7-12. 参照）



作り方は図のように、縦長の3つのユニットをそれぞれ造船ドックで生産し、海上でドッキングさせる方式を採る。3つのうち最大のものは、中央部のユニットで、幅80m・長さ300m・高さ50m程度の大きさを想定しているが、これは原子力発電所の重要施設である原子炉建屋やタービン建屋を収納できる大きさである。日本の造船ドックで大きいものは幅100m・長さ990mのものもあるので、生産可能なサイズである。

従来の場合、地盤調査や土地買収から始まって、長い工程がかかるが、この方式ではすぐに生産にかかれる。またドックには大型クレーン等の設備も充実しており、コストも安くなる。さらに各土地の条件に合わせて設計する必要がなく、同じ仕様で作れるので、品質が安定する他、コストも低くなるなど、品質（Q）・コスト（C）・納期（D）全てが同時に向上する効果がある。

特長Ⅳ. さらに万全を期して安全を強化（図 2-7-13. 参照）

特長Ⅳ 更に万全を期して安全を強化

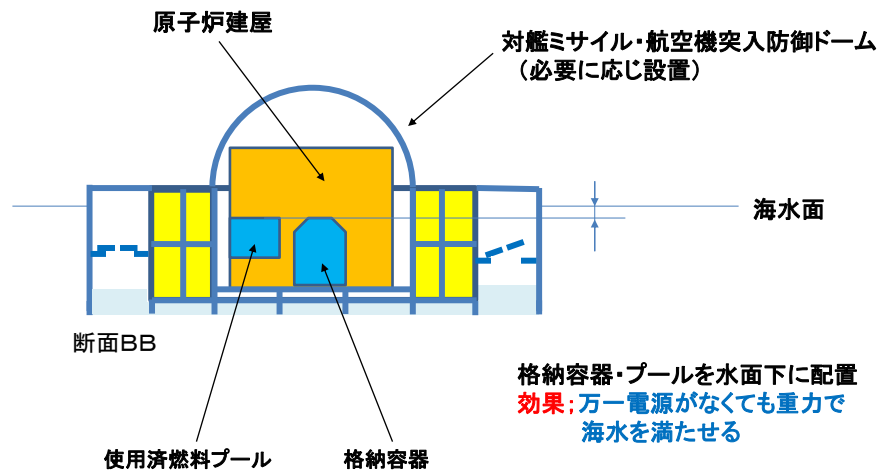
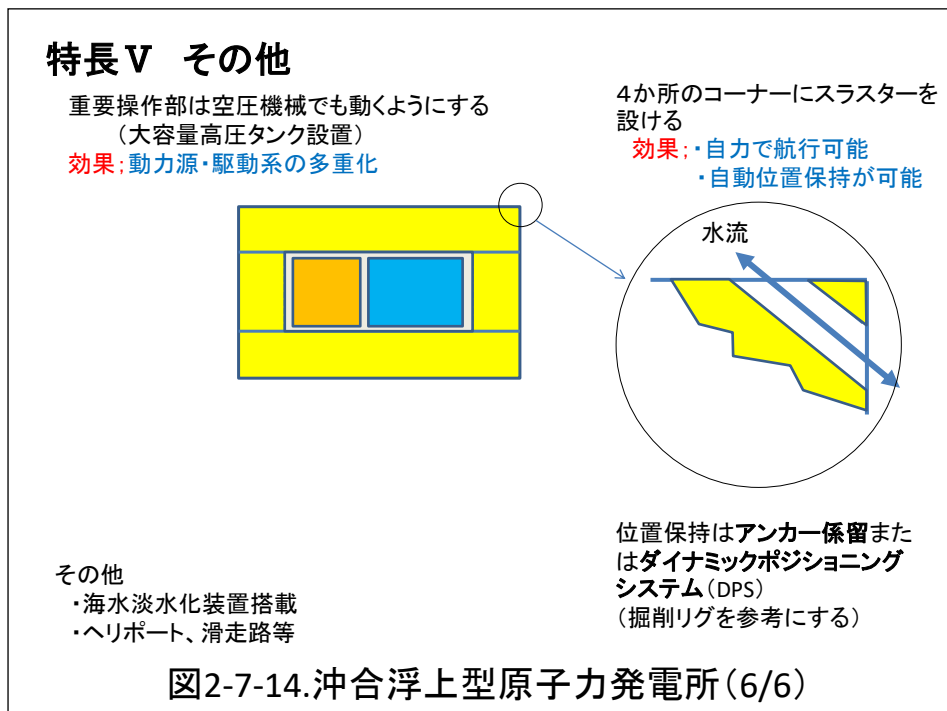


図2-7-13.沖合浮上型原子力発電所(5/6)

さらに万一のことを考えての対策も取りやすい。たとえば、最悪時に格納容器を海水に満たす水棺方式も、格納容器が水面下に位置するように配置しておけば、電源が無くなった場合でも、重力で海水を満たすことができる（真水タンクを格納容器より高い位置に設置してそれらを優先して使い、海水は最後の手段である）。同様に使用済燃料プールも水を切らす懼れはなくなる。

対艦ミサイルや航空機の突入に対しては、図に示すように上部をドームでカバーすることで格納容器の防護性能と合わせて被害を防ぐことができると思われるが、それには特に技術的な問題は無い。

特長Ⅴ その他（図 2-7-14. 参照）



移動は 4 か所のコーナーに設けたスラスタによって、あらゆる動きをすることができる。これにより地点間の移動や定位置に留まることが可能になる。

係留は掘削リグなどで実用化されているダイナミックポジショニングシステムによってもよいが、水深がそれほど深くなければ、アンカー方式がエネルギーを使わないので望ましい。

さらに原子炉そのものをもっと安全なものに置き換えることができる。たとえば、東芝のホームページによると、AP1000 は東芝グループのウェスチングハウス・エレクトリック社が、加圧水型軽水炉(PWR)を改良した電気出力115万kW級の最新鋭原子力発電所である。安全システムは運転員の操作や電源を必要としない、世界初の設計となっていて、圧縮ガスによる圧力や重力などの力で原子炉容器内に冷却水が注入され、自然循環によって熱を取り除くようになっている。(詳細はよく知らないが、「本質安全」構造と言えるのではないか。)

以上の検討の結果、沖合浮上揚式原子力発電所の実現の可能性はあるように思う。一方国内の原子力発電所をめぐる議論は、必要性和リスクをどう見るか議論が分かれている。現在は事故直後でもあり、原発を将来に向けて廃止していこうという意見(気)が優勢になっているようにみえるが、本当にそれ

でよいのだろうか。100年後に子孫が困ることは起こらないのだろうか。

現在の議論の進め方で問題点があると思うのは、暗黙の大前提のもとに、その是非が論じられていることである。すなわち、その大前提とは現状の原子力発電所の設置場所を、「地震の揺れが少ない強固な岩盤上で、かつ冷却水が利用できる海岸近くに設置する」としている点である。しかも揺れの強さや津波の高さの想定は追加される調査のたびに変さらになり、原子力発電所側は耐震補強や堤防の高さを増したりと、その対応に追われている。したがって、このような状況を見ている国民の不安は、いったい想定は正しいのか、もし想定外の地震や想定外の津波がおこったら原子力発電所は本当に大丈夫なのか、そして放射能漏れを起こし、住民が避難したり、土地を追われることにならないかという多くの不安を払拭できないのである。

しかし、もしその大前提を取り払って、想定外の大地震や想定外の大津波にも被災することがない原子力発電所が、しかも岸から遠く離れた海上にあるということになると、話は変わってこないだろうか。

ここで示した沖合浮上型原子力発電所の構想案は一つの例である。他にもっと良い案もあるだろう。強調したいことは、狭い限定された範囲内で選択肢を選ぶのではなく、沖合浮上式原子力発電所やそれ以外の可能性（例えば大深度の地下に設置する案もあり得る）も含め、原点に戻って幅広く議論した上で、今後の方向を出したらよいのではないだろうか。

例えば、1ヵ所は、ベストと思われる原子力発電所の研究を進めておいて、将来のエネルギー危機に備えるということも、考えられるのではないだろうか。

（質問 『上記提案に対する問いかけ』 滑）

津波の影響を受けないほどの沖合に発電所を建設した場合、発生した電力をどのようにして陸上に送電すればよいのであろうか？無線による大電力伝送は実用化できるのだろうか？他の方法も含め、何かよい解決策があればよいのだが。

またこのように沖合に建設する場合、作業者の住居も同じ場所もしくはその近辺に建設する必要がでてくる。水、食料、その他の生活物資の配送、生活排水処理、作業者向けの娯楽など、海上でのインフラ構築と運用において

は、こういった視点からの検討も必要だろう。

ここで原点に立ち返って考えてみる。原発の本質危険とは、高エネルギー、高電力、複雑システム（運用者も含む）などである。こういった視点で考えると、たとえ沖合に建設したところで、本質的な危険は取り除かれていないことになるのではないか？これらの本質危険を避ける意味で、分散システムはどうであろう。効率面ではマイナスとなるだろうが、完全密封のパッケージ化されたミニあるいはマイクロ原発、さらには RTG（Radioisotope Thermoelectric Generator）の原理活用などは考えられないだろうか？

（補足 『問いかけに対する回答』 近石）

電力用海底ケーブルについては、私も気になっていたので調べてみると、世界では離島に電力を送る場合などにいくつか実績があった。日本では徳島県から和歌山県へ紀伊水道横断部約 50km に世界最大級の直流海底ケーブルを通した実績がある。スペックは電圧 500kV、電流容量 2,800A、送電容量 2,800MW/回線（双極 1 回線）、とあるので、100 万 KW（1,000MW）クラスの原子力発電所の電力を送るのには十分である。

（コメント 『発電システムについての個人的見解』 滑）

原子力発電について考えてみる。これも最上位まで上ってみると、電力が安定的に供給されるということであろう。だとすれば、ほかにも考え方があっていいのではないか。筆者が考える究極の電力供給は、地産地消である。つまり各戸（あるいは各地域）で発電し、それを消費するという考えである。これなら、送電分離も議論不要となる。さらに発電と電力消費が同じ場所で行われるため、スマートグリッドの上を行く制御システムが、比較的容易に作れるだろう。

雪解けの水が勢いよく流れる小川や溝があるところでは、それを利用しない手はない（夏の間だけとなるが）。現にヨーロッパでは、そのようなこと（水車発電）が行われているところがある。マイクロタービンによる発電も考えられる。燃料電池も候補の一つとなろう。さらに太陽光発電や蓄電システムも組み合わせればよいのではないか。各戸あるいは各地域で発電することにより、送電ロスを大幅に減らすことができる（電力損失がなくなるだけでな

く、新たな送電設備の建設や維持管理も不要となる)。またそれぞれが小規模であるため、高エネルギーという本質危険を避けることができる。大規模停電も起こりえない。コストと効率が問題となるが、それは今後の技術革新が解決してくれることを期待したい。またそういった技術革新に対応して、法律の改正がおこなわれることを期待する。

(補足 『NIMBY』 張田)

「沖合浮上式原子力発電所」であれば、設置場所も順次変更できるので、NIMBY (Not In My Back Yard) という住民との設置交渉、高額な補償金を節約できるメリットもある。ただし、テロ対策機能・設備も同様に移動させる必要がある。

以上の例における「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、つぎのようなものである。

「沖合浮上型原子力発電所」に考えが至ったのは、振り返ってみると、「実現したいこと」・「変化」・「逆演算思考」および「直観」の4つが必要だったように思うので、その重要性を述べる

① 「実現したいこと」

原子力発電所の今後を考えるに際して、グループメンバーと議論した結果、筆者らが目指すべき「本質安全」は「想定外の大地震でも本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」とした。そして目標としては、日本最大の観測値より大きい5,000ガルでも発電が停止しないという無理とも思える目標を掲げた(図2-7-3.参照)。

② 変化

この時は、津波のことがまったく念頭になかったが、津波を経験した今、上記「想定外の地震」以外の「本質危険」が顕在化した。この「変化」を捉えて、「本質安全」構造の原子力発電所を考え直す必要があると考え、第2の目標を追加した。それは、「想定外の津波でも本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」である。

さらに、原子力発電所の放射能拡散による事故で住民が難渋しているのを見

ると、「万一事故が起こっても、放射能による被害が住民に及ばない」というのが第3の目標となる。

この一見無謀とも思える3つの目標を同時に達成することが、「実現したいこと」になる。

③ 「逆演算思考」

「逆演算思考」は最終事象から逆に遡って、そのひとつ手前はどのような状況になっているのだろうと考えていく方法である。

今回の例の場合、「想定外の大地震でも本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」を満足する状況は今まで検討してきたので、それによると、水の上に浮体を浮かべるか（図 2-7-5. のC案またはD案）、陸上で空気に浮かべるか（図 2-7-6. の案）になる。

次に、2つ目の目標である「想定外の津波でも本来の役割である電力供給が維持できる原子力発電所」を満足する状況として想像できるのは、津波が届かない高度にある陸地か、または海岸から十分はなれた沖合のどちらかになる。

また3つめの目標である「万一事故が起こっても住民に被害が及ばない」を満足する状況として想像できるのは、人里離れた山奥か海岸から十分離れた沖合になる。

④ 直観

上記を総合して考えてみると、もし3つの目標を満足する答があるとすると、海岸線から十分離れた沖合に設けたC案またはD案か、人里はなれた山奥で地上に設置した空気浮揚式、または山奥の湖や池に浮かべた浮揚式（C案かD案で、揚水式発電所と組み合わせる面白い）がありうる答となる。

ここでは、私は直観的にC案を選んだ。上記の目標以外のいろいろな視点で見て、多分最適と感じたからである。実際少し考えただけでも、品質・コスト・納期面のメリットが思い浮かぶし、技術的にもそれほど無理なことがない。すなわち技術の筋としては悪くはない。とそんな気がしている。

2-8. 機械式駐車場

機械式駐車場は限られた狭い場所に多くの車を収容する必要から、特異的に日本で発達してきた装置だといえる。あまり大きく報道されないが、実際には多数の

死亡事故が発生している。大きく報道されない理由は被害者が安全装置を無視して、あるいは解除して自分でパレット（駐車車両を乗せる金属製の台）に乗り込んでおり、亡くなった人に責任があるケースが多いからである。そうすると業務上過失致死が成り立たないので、詳しい調査が行われず、大きく報道されることもなかったのである。

報道の対象になるのは、業務上過失致死が適用されそうな場合である。2005年9月に大阪・北区の立体駐車場で、天井の煙探知機の点検をしていた作業員がパレットとパレットに挟まれ、死亡した。作業員は受付の係員に「今から点検に入るから、（パレットを）動かさないように」と伝えていたが、係員が誤って作動させたのである。

2001年9月、横浜・港北区のホテルの機械式駐車場で、駐車位置に自動車を止めて外に出ようとした社員が、動き出したパレットとコンクリートの床の間に体を挟まれ、圧死した。駐車場従業員が駐車位置に人がいることを確認せずにパレットを動かしたのが原因だった。

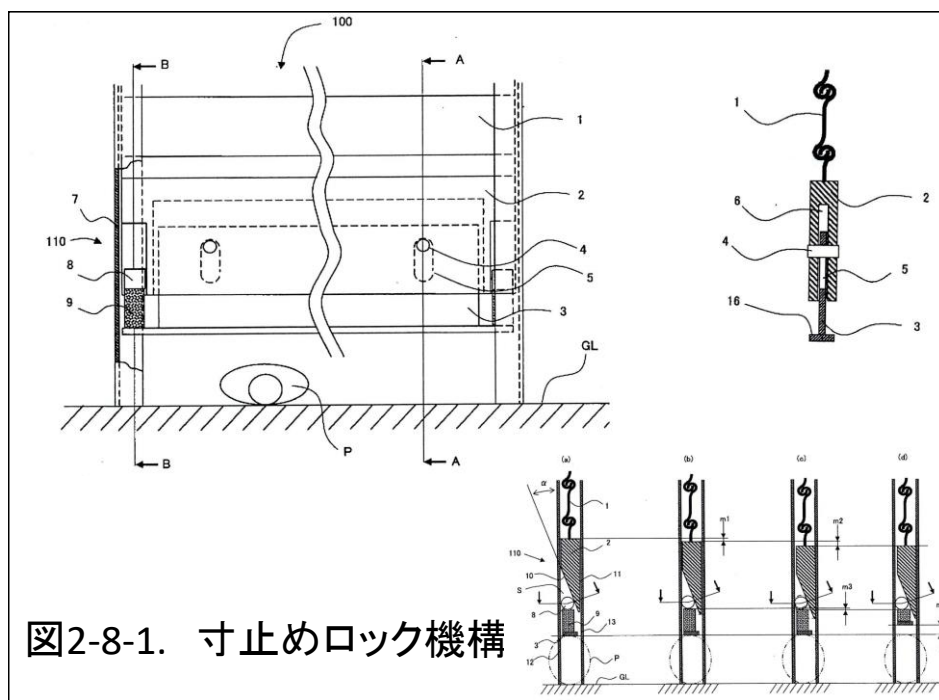
多くの機械式駐車場は、以上のような事故が実際におこっているにも関わらず、人が挟まれる事故のことを想定して作られてはいない。この理由は①本来は安全柵が上がって人が出入りできる状態になっていると、パレットの運動空間に人がいると判断して、パレットは動かないことになっており、②安全柵が下がっていけば中に人がいないと判断して、パレットが動作するように設計されているからである。

ところが、実際には、何らかの理由で安全柵を越えて中に入る人がいるのである。自動車のキーを落としたなどの理由でパレットの上に乗らざるを得なくなり、そのときに事故が起きている。安全柵を乗り越えて動いているパレットに乗ってキーを拾い、脱出できずに挟まってしまうわけである。当然、このような行為をする人も自分が危険な行為をしていることは知っている。それでも事故が起きるのは、柵の中に人が入ったら、何らかのセンサでそれを検知して機械が動作しないように設計されていることを多くの人が期待しているからであろう。

このことは、世の中に普及しているエレベータや電車などのドアが人を挟んでも、決して人を傷つけることはない、ということにも起因しているのではないか。この安全に関する技術の差が機械式駐車場の「本質危険」を顕在化させた例とも言える。図 1-2-1. 参照

このような事故を防ぐには、パレットの進行方向に検知板を設けて、これに人が触れるとそれを検知してパレットの動きを停止させることが考えられる。他分野ではエレベータの開閉扉についているものである。エレベータでは人がこれに触るとリミットスイッチがこれを検知してドアが再び開く。筆者らの定義による「制御安全」であるが、万一故障してもドアを閉じる力が弱いので人が挟まっても人を傷つけることはない。これと同じ機構を機械式駐車場で採用した場合、パレットは車を載せて動かさなければならないので、その力は必然的に大きくせざるを得ない。この場合だと制御系が故障して止めることができなくなったら、挟まれた人は明らかに重篤な被害を受ける。

筆者らはここに「本質安全」構造を適用しようと考えた。その原理は図 2-8-1. の通りである。筆者らはこのパレットの「本質安全」構造を検討した（図 2-8-1. 参照）。これは、シャッターが降下するとき人につぶさないための「本質安全」構造として考えたものだが、機械式駐車場でも適用できる。



シャッター1が降りてきて、人Pに接触すると、検知板3と球8は降下を停止する。シャッター1の楔2はそのまま降下して球8との間でセルフロックを起こして動かなくなる。楔作用を利用するのでシャッターの下向きの力がいくら大きくても確実に止まる。人体には検知板を動かす力しかかからないので安全である（これを「寸止めロック機構」と称する）。元に戻すにはシャッターを逆方向に動かして

やるとロックが外れて元の通りになる。これが「本質安全」部である。さらに使い勝手をよくするためには、セルフロックがかかるもう少し手前で、リミットスイッチが働き、シャッターを停止、或いは逆戻りさせるとよい。いわゆる「制御安全」であるが、こうすると挟まれかかった人は通常は「制御安全」により安全に脱出できる。そして万一制御系が故障しても「本質安全」によりロックがかかってパレットは動かなくなり、人を強い力で挟むことはない。この組み合わせは筆者らの主張する「本質安全」と「制御安全」の望ましい形である。このシャッターの「本質安全」構造は重力の影響を多少加味するだけで、ほとんどそのまま機械式駐車場にも適用可能である。

最近ではシャッターにも同じような制御系による安全装置がついているが、大きなシャッターの場合は自重が重いのでやはり同じ危険を有する。それ以外の分野でも人が出入りする場所で大きな力がかかる開閉扉があるところはこの考え方が適用できる。

以上の例における、「開発ステップ」にフィードバックすべき上位概念とは、次のようなものである。

- 「本質安全」構造として、「寸止めロック機構」は広く使える概念である。

第3章 危険地図と危険ホール

筆者らは危険をどのような形にイメージすれば、危険を包括的に考えやすく理解しやすくなるか、ということを考えてきた。まだまだ途中段階ではあるが、ある程度は目的を達していると思うので以下に紹介する。

3-1. 危険地図を作成する

・危険地図を共有することで危険を回避する

危険学の目的のひとつは「危険地図」を作成することにある。

現代社会は決して安全な社会ではない。学校、交通機関、工場、観光施設、商業施設、エレベータ、エスカレータ、機械式駐車場など、あちこちに危険が潜んでおり、実際にそうしたところで多くの事故が発生している。ところが、危険にたいする人々の考え方は明らかに「ぬるく」なっている。

技術が進化し、機械が発達したことで、「安全であることが当たり前」のように思い、危険に対する心構えが衰えている。畑村代表が懇意にしている小児科医から、「多くの母親が子どものまわりにある危険に鈍感になっており、それが事故につながっている」と聞かされたことがある。

こうした「ぬるい風潮」を変えるには危険と真正面から向かい合う必要がある。「マニュアル」「べからず集」「失敗事例集」のようなものでは行動を変えるところまでいかない。具体的に、どこに、どのような危険が存在するのか、危険を防止するために何をすべきかを示した危険地図を作成する必要がある。

（蛇足 『歩行中の携帯電話』 滑）

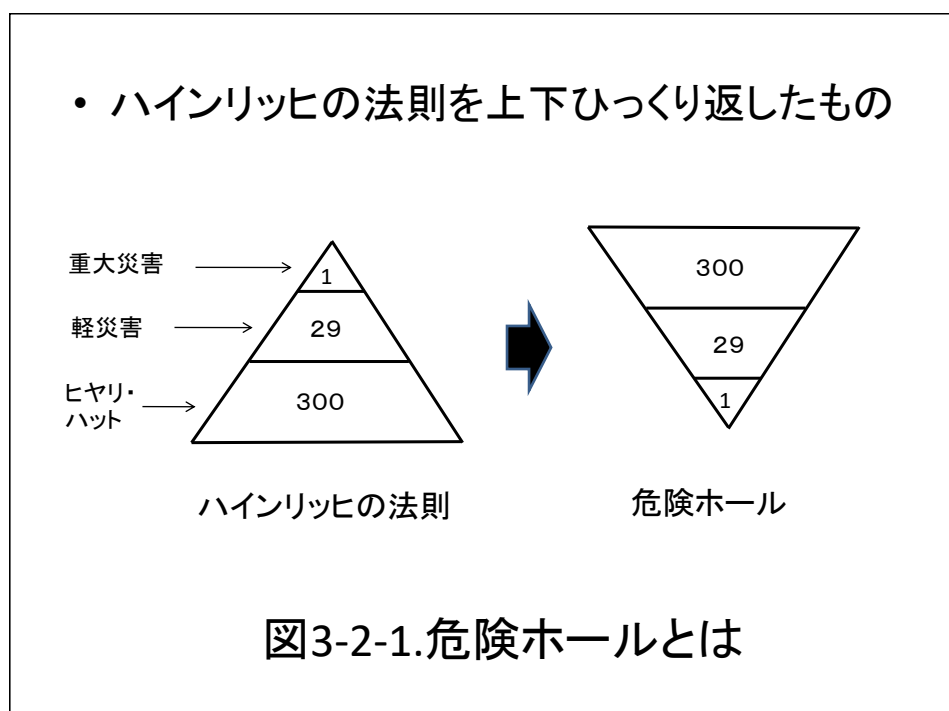
最近ではスマートフォンが一般的になってきたということもあり、携帯電話の画面を眺めながら駅のホーム、階段、エスカレータ上を歩いている人を数多く見かける。信号機を見ずに、携帯電話の画面に集中して歩いている人もいる。いずれどこかで事故が起きるのではないかと危惧している。駅のホームから転落する（最近ではホームに転落防止柵が取り付けられている駅が出てきているが）、下り階段で足を踏み外して転げ落ちる、下りエスカレータで転落する、といったような事故が発生するかもしれない。これなども、「ぬるい風潮」、あるいは「危険に対して鈍感になっている」と言えるのではないか。

もちろん、人によって生活圏が異なる以上、危険地図は一人ひとり異なったものになる。ただ、自分自身で危険地図を作った経験があれば、視野を広げることで、社会のどこに、どんな危険があるか見えてくるし、自身の危険地図と他の人の危険地図を重ね合わせることで、危険地図はあっという間に豊かなものになる。そして、それらの危険地図を統合していけば、組織・社会全体で信頼度の高い危険地図を共有することが可能になる。

3-2. 危険ホールの形を知る

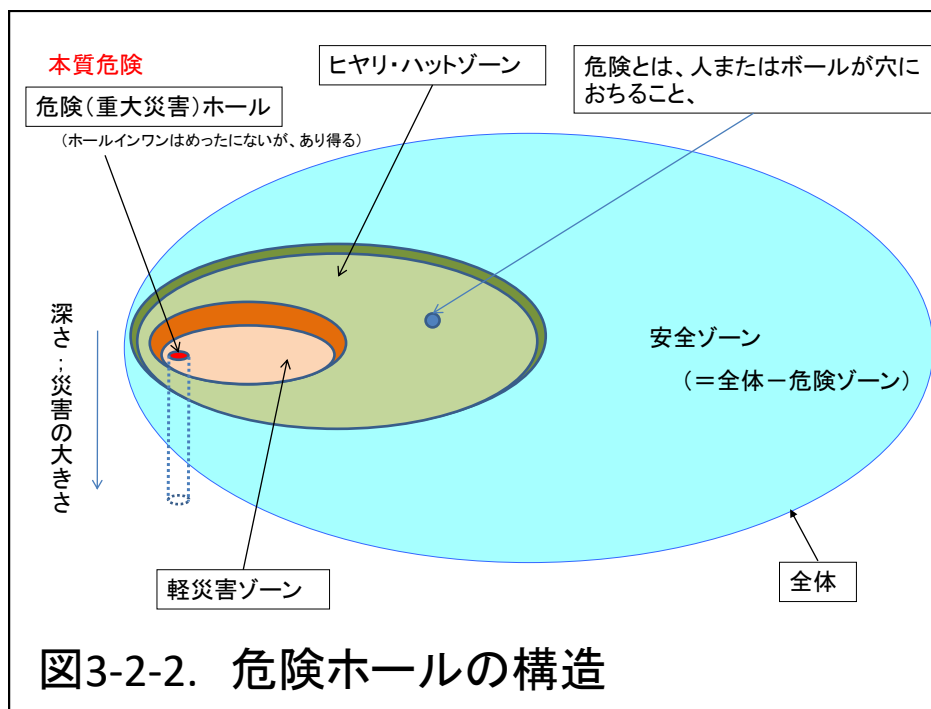
危険地図は、どこにどのような危険が存在するのかを旗を立てて示すことにより、鳥瞰図的に見ることができる。では、そこに近づくと突然重大な危険に遭遇するのだろうか。それを示したのが危険ホールである。

図 3-2-1. は「ハインリッヒの法則」がよく使われる図である。



「ハインリッヒの法則」とは、アメリカの保険会社で働く H. W. ハインリッヒという人が、労働災害の発生を統計的に分析して見つけた経験則である。「ハインリッヒの法則」によれば、1 件の重大事故の陰には 29 件のかすり傷程度の軽災害があり、その軽災害の陰にはさらに 300 件の、ケガにはいたらないがヒヤッとした体験がある、というものである。これを上下ひっくり返すと危険をうまく表現できるのではないか、という面白い着眼がグループメンバーから提案された。これを分かり

やすくしたのが図 3-2-2. である.



これは前述の図を書き直したもので、縦軸は深さ方向に災害の大きさを表し、水平面の面積は発生確率を表す。重大災害は中央部に深い穴として表現されている（ここは「本質危険」とも言える）。ここは危険ホールと称し、面積は 1（例えば直径 1m、深さ 10m としよう）である。そのまわりには浅いがやや広い窪みがある。ここは軽災害ゾーンと称して、面積は危険ホールの 29 倍（直径 5.4m、深さ 1m）ある。その周りにはさらに浅い段差の窪みがある。ここはヒヤリ・ハットゾーンと称して、面積は危険ホールの 300 倍（直径 17.3m、深さ 10cm）である。その周辺は安全ゾーンとなる。

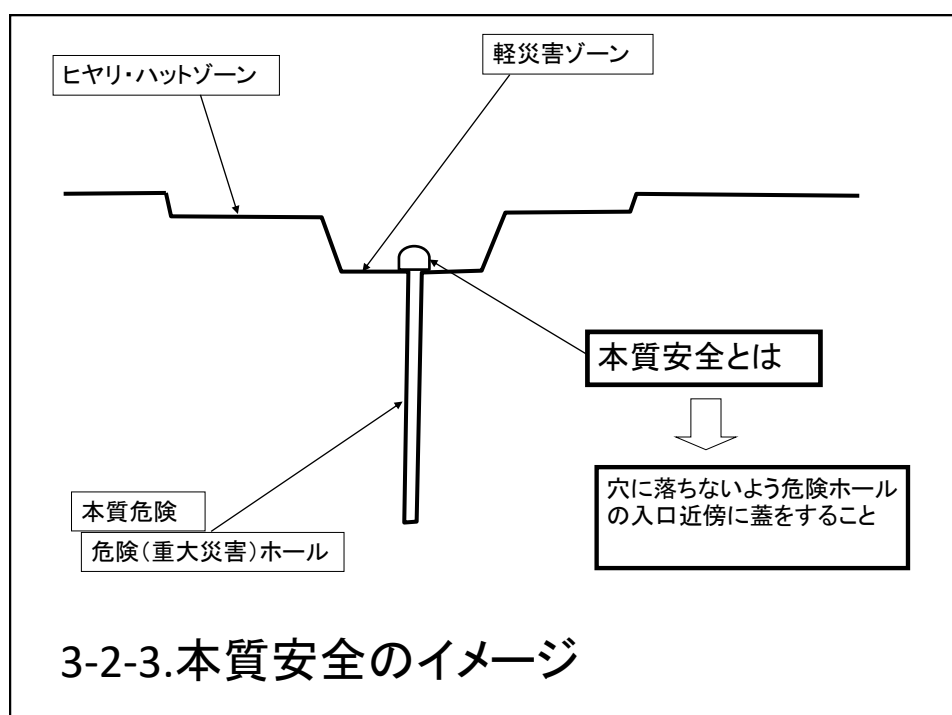
以上を初めての人に説明する場合は次のようになる。

『人がうっかりよそ見をして歩いていると、危険ホールに近づいたときは、最初に小さな 10cm の段差に少し足をとられてヒヤリとかハットしますが、ころんでケガをするようなことはありません。この時点で周囲をよくみわたり、さらに深い穴の位置を確かめ、段差のあるところから出る努力をした人（ヒヤリ・ハットの対策をした人）はその後その場所で危ない目には遭いません。しかし、ちょっとヒヤッとしたただけだから大したことはない和高をくくっている人は、そのうちもう少し深い 1m の窪みに落ちるかも知れません。このときは穴が少し深いので転倒して軽い怪我をするかも知れないが死ぬようなことはないでしょう。そこ

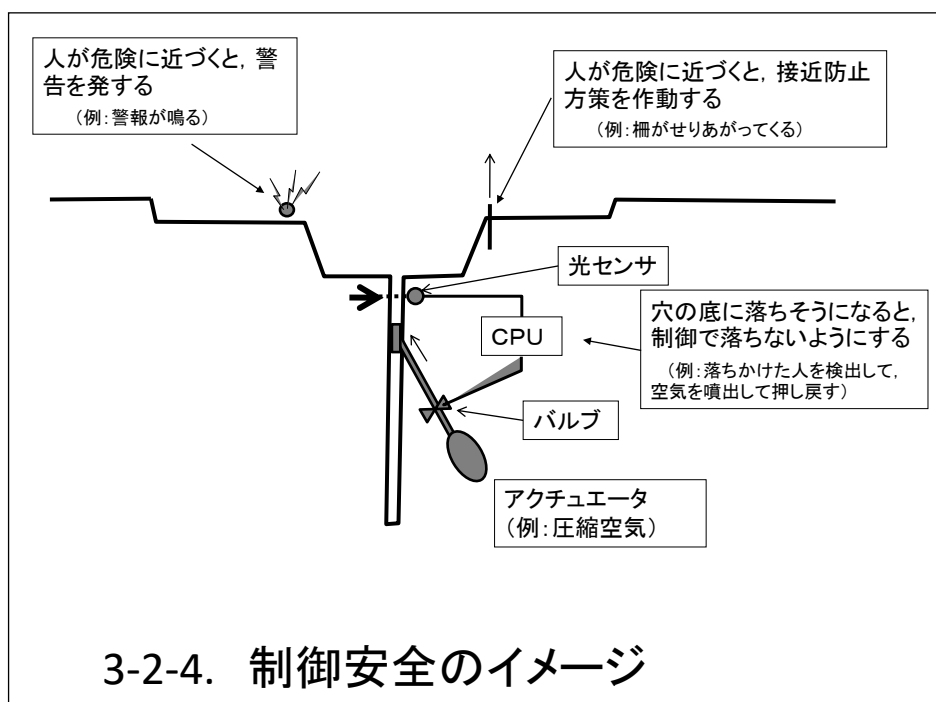
でも「チョット運が悪かっただけ」と懲りずに根本的な対策をとらずにいるとそのうち10mもある深い穴に落ち、重症を負ったり、下手をすると死亡します。このようにいきなり深い穴に落ちる可能性は少なく、その前には必ず浅い窪みがあるのだから、そこで気がついて対策するのが重大な危険から逃れるためには大事なことです』

と説明すれば子供でも分かりやすい。

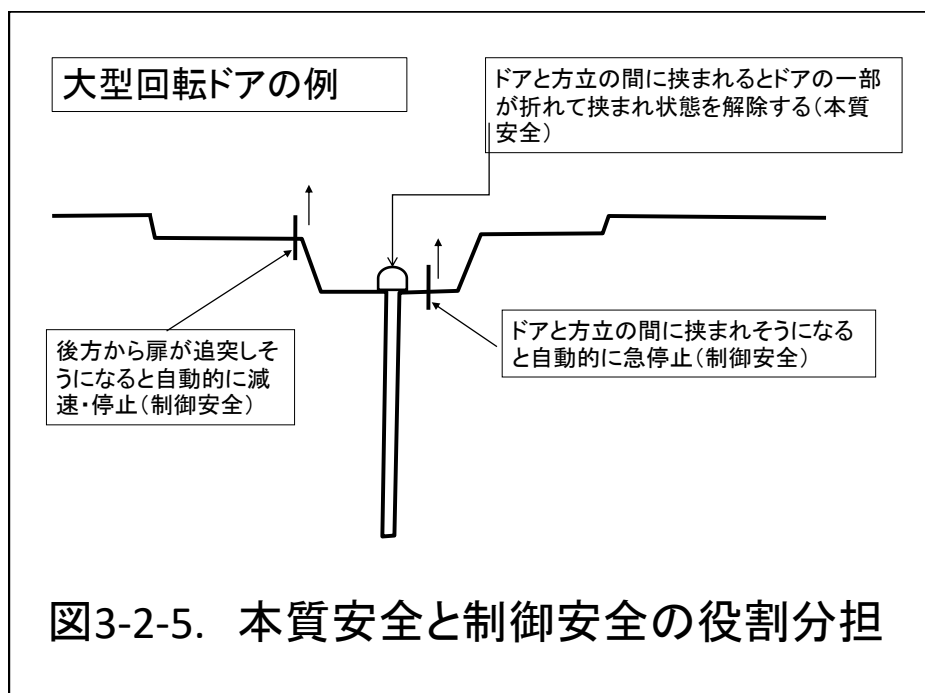
それでは「本質安全」をこの危険ホールで説明するとどうなるかを示したのが図3-2-3.である。



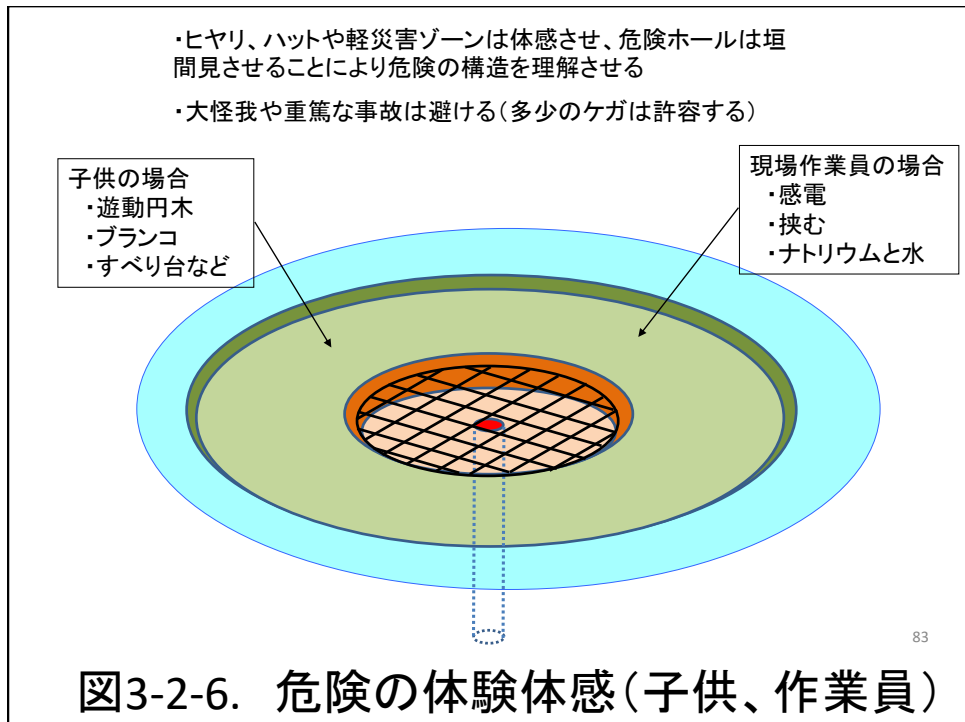
ここでは「本質安全」は「本質危険」に相当する危険ホールの入口近傍に蓋をすることに相当する。こうすることで人が落ちこむことはなくなる。一方制御安全は図3-2-4.で表されるようにセンサで人が近づいたことを検知して穴から落ちることのないよう空気を吹き上げることにより落下を防止することに相当する。



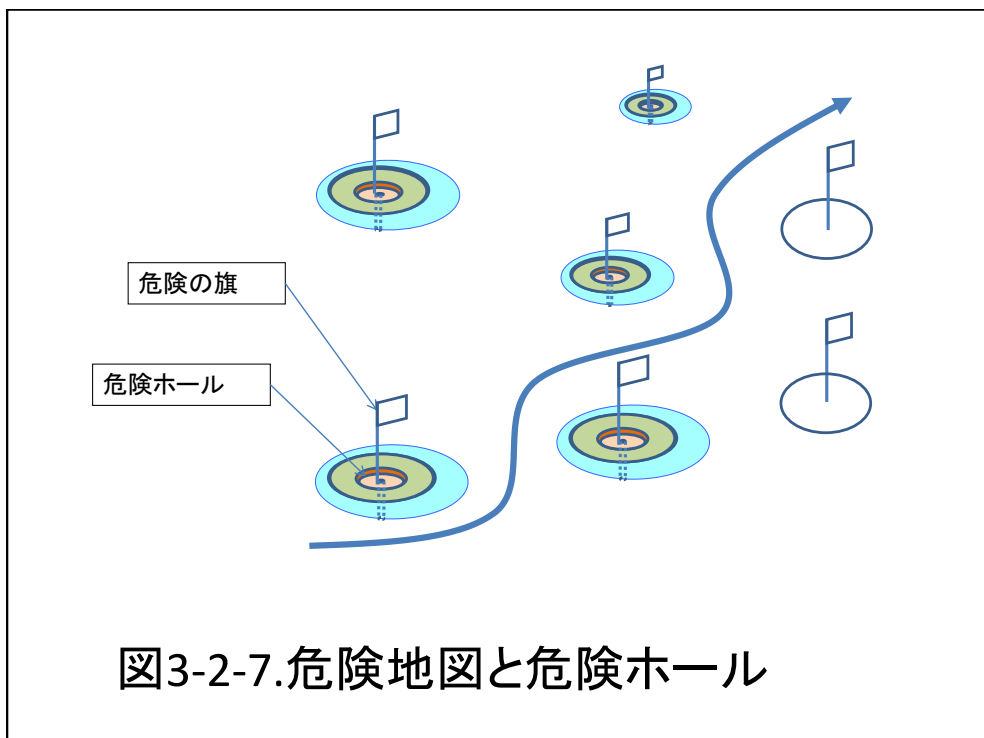
「本質安全」と制御安全を組み合わせたい望ましい状態は図 3-2-5. に表される.



子供のための遊具を作る場合は図 3-2-6. のようなイメージになると考えている. すなわち子供が重篤な事故を起こすことなく、ヒヤリ・ハットを経験しながら多少のケガは許容するというものである.



以上のように危険個所に危険の旗を立てた危険地図と、危険の旗の周辺をズームアップした危険ホールを組み合わせることにより危険を分かりやすく表現できる。(図3-2-7. 参照)



第4章 特許，グループメンバー

4-1. 出願特許

「本質安全」に関する特許の出願は「ドアプロジェクト」において，大型回転ドアの出願をしたことから始まり，その後シャッター，スライドドア，エレベータと続き，危険学プロジェクトへと続いている．

出願の主目的は，「本質安全」思想およびそれを実現した製品の普及であり，筆者ら自らが権利を獲得することではない．そのため，筆者らが考えた技術思想を特許出願の形で世に開示するにとどめ，審査請求は行っていない．

出願の内容は，利用できる方には大いに利用していただきたいし，権利を取った方が製品化しやすいというのであれば，ご協力する意思はあるのだが，残念ながらそのような情報は今までのところない．

	タイトル	出願番号	出願日	備考
1	回転ドア装置	特願 2005-055234	2005. 3. 1	ドアプロジェクトで実施
2	シャッターの安全機構	特願 2005-358799	2005. 12. 13	
3	スライドドアの安全機構	特願 2006-029099	2006. 2. 7	
4	扉用の安全装置備えた昇降システム	特願 2007-056928	2007. 3. 7	
5	空気浮揚式の浮体免震構造	特願 2009-245460	2009. 10. 26	危険学プロジェクトで実施
6	周期可変型遊具	特願 2009-047509	2009. 3. 2	〃
7	遊具	特願 2011-068864	2011. 3. 25	〃

4-2. グループメンバーの紹介

No.		氏 名	勤務先または所属	備 考
1	グループ長	近石 康司	実際の設計研究会	
2	グループ員	大笹 懸司	(株)日鉄エレックス	
3	〃	笠原 直人	東京大学	
4	〃	鎌田 修	東京エレクトロン(株)	
5	〃	進藤 正人		
6	〃	凶子 正志	三和シャッター工業(株)	
7	〃	匿名 B		
8	〃	徳山 典昭	三和シャッター工業(株)	
9	〃	中山 康子	(株)東芝 研究開発センター	
10	〃	滑 孝和	実際の設計研究会	
11	〃	張田 吉昭	(有)フローネット	
12	〃	三島 博之	(株)トクヤマ →塩ビ食品衛生協議会	

おわりに

近石

2012年5月、ようやく形にすることができた。

この活動を始める時点では不確定なことや疑問がいくつもあった。最大の疑問は、「本質安全」というのは一般的に通用する概念だろうか？そしてそれを実現する共通の開発のやり方というはあるのだろうか？という点にあった。

活動が終わった今、自信をもって答えられる「YES！」と。筆者らが検討したほとんどのケースで「本質安全」の新構造は存在したし、ある程度共通した開発の方法は存在した。いままでになかったのは、メーカーがこのような視点を持って積極的に取り組んでこなかったからではないかと思われる。筆者らが強調したいのは『「本質安全」を目指してとりあえず挑戦してください。答はあるはずですが』、少なくとも『あるはずと信じて行動することが大事です』である。

報告書を書く最後の段階で、原子力発電所の「本質安全」構造として、「沖合浮上式原子力発電所」の案を策定しようと思いついた。これは原子力発電所が将来、東日本大震災のときのような大災害に遭わない可能性があるかも知れないと思うようになったからである。ただし、これは一つの可能性に過ぎない。もっと有効な方法もあると思う。しかし現在進められている議論は、現状の原発を前提にして、長期的には原発に依存しない方向で議論が進んでいるように見える。日本のエネルギー政策の基本方向を決めるのであるから、選択肢を狭めるような前提条件は取り除き、可能性を広めた上で大所高所から議論していただきたいと願う。

5年間の活動が終わった現在、振り返ってみると、やり残したことだらけである。未完成のものではあるが、それなりの努力をして、多少の結果も出せたと思うので、筆者らが考えた証しとして報告書として残すことにする。

滑

5年間の活動において、グループ長ならびに他のメンバーの方々から多くのことを学ぶことができた。ここで得られた知見は、筆者にとって、お金に代えられない資産である。また危険学プロジェクトのメンバーとして活動する中で、如何にして自分の身を守るかということも、身につけることができた。これも、今後の人生において、大いに役立つことであろう。

それにしても、我らがグループ長の頭の構造はどのようになっているのだろうか。一度頭を割って、中を覗いてみたいものである。

大笹

2007年から活動してきて、爾来、活動のテーマに上がっていたもの、エレベータ、エスカレータと言ったものに関してマスコミをにぎわすような事故が発生してきた。最後は、3.11の東日本大震災での津波と原発のトラブルで、つくづく畑村先生の慧眼に感服する。先生が言っていた通りに大きな災害が起こっているのではないか！！次は首都水没か。この活動を通じて、本当に色々勉強させて頂いてとても楽しかった。

設計グループで本質安全の設計手法をディスカッションさせて頂く中で、具体論になるとまったくアイデアなぞ出なくて何も貢献できなかったが、抽象度が高くなってくると、やっている方法論は、人生の大事を判断する為の視点と同じだなと感じた。

- ① 出来るだけ高い視点からしてみる（上位概念に遡る、新平面の飛んで見る）。
- ② 長い時間スパンで考えてみる。目先の損得でなく、10年後、20年後それは自分にとってどういう意味をもつのか（技術の来歴を知り、将来の社会の変化を予測しその中で商品の役割、持つべき機能を洞察する）。
- ③ 出来るだけ多方面の人の意見、見方を聞いて見る（違う分野の技術、アイデアを活用）。

この危険学の活動を通じて、「命てんでんこ」という言葉を学び、そして、それを子供達にきちんと教え訓練した結果として、釜石の児童生徒達のほとんど死者無しという奇跡を生み出した事例にいたく感動した。「個が自立し、自分で見て、自分で考えて、自ら行動を起こす」。そういう文化を持った社会を作り上げていくことこそ、危険に強い社会なのかと思った。そうした社会を作り上げていくのは、政治や教育にだけ責任を押しつけるのではなく、私たち大人一人ひとりの責任であると自覚することが重要だと思う。それにしても、「原発は安全」と言えば、安全になり、「日本は平和憲法を持っています」と言えば、ずっと平和でいられると思う考えが主導し、万が一の事態が発生した事を想定してディスカッションする事すら忌避されてきた日本を、なんとか変えていきたい。

図子

危険学プロジェクトの発足時、私はドアプロジェクトでお世話になった近石さんがグループ長を務められるグループ5を希望して活動を始めた。回転ドア事故の当事者として、当社で行った新回転ドア開発での経験・知見が本活動のお役に立てばとの思いと、その開発工程が正しかったのかを検証したいとの思いがあった。結果、大きく外れるものではなく、ほぼ正しい工程であったと分かりほっとしている。

本活動で異業種の方々と議論をし、多くのことを学習できた。特に、近石グループ長の要求機能の上位概念を把握し、新平面で新しい機能・機構を考える手法は衝撃的だった。専門的に狭い範囲で考えていた私はハンマーで頭を叩かれたようだった。若い開発者には、この手法と、ハインリッヒの法則の図をひっくり返した危険ホールとこれを用いた危険地図を是非実践して欲しいと思う。作ろうとするシステムを安全制御を外した裸の状態にして、潜在化しているリスクを描くと、その物の本質危険がよく見える。

最後に、グループ5の皆さん、他グループの皆さんにはお世話になりました。私にとって本当に有意義な5年間でした。ありがとうございました。

張田

小生は科学技術振興機構（JST）失敗知識データベースの編集で、過去の事故を適切に分析することで、多くの有効な知識（事故の発生を防ぐ、発生したときの対応方法等）を得ることを実感していた。

しかし、これまで発生していないが今後発生しそうな事故については対応できないことになる。危険学プロジェクトへの参画を決めたのは、これに対応できるのではと考えたからである。畑村代表の「考えられることは、起こる可能性がある」という考え方を伺ったからである。すなわち、これまで発生していなくても、想定できることは、そのことが事故として起こる可能性があるというのである。

「考えられること」のキーワードは「変化」である。すなわち今後の環境変化によって、事故（危険）が引き起こされることに着目するのである。

さて、人間を含め生き物は、過去の様々な変化に適切に対応できたもののみが残ってきて現在の生体・生態系となっているのである。そもそも生き物は変化に弱いのであるが、ダーウィンの進化論のように、環境の変化に適切に対応するために、生

き物の生体・生態が変化（進化）してきているのである。筆者ら人間も「変化」に対して大変弱いのである。

まさしく、2011年3月11日の東日本大震災という大きな変化に対して、その対応をみると、いかに変化に弱いかをまざまざと見せつけられたと感ずるのは小生のみではないと思う。しかし、愚痴を言っても始まらない。幸い IT 技術の大幅な進歩で様々な情報収集が容易になってきた、それらの情報および現場検証から、「変化」をしっかりと把握・分析し、筆者らの知恵で、その「変化」に適切に対応していく時代になってきたようである。危険学プロジェクトもそのような活動のスタートであった気がする。

危険学プロジェクト
グループ（５）「設計の思考過程」
５年間のまとめ

2012年5月31日

Copyright © 2014, 危険学プロジェクト
危険学プロジェクト代表 畑村洋太郎

〒101-0047

東京都千代田区内神田 3-17-10 神田テクノス 2階
株式会社畑村創造工学研究所内

Tel: 03-3253-0231

Fax: 03-3253-0232

URL: <http://www.sozogaku.com/>

e-mail: hatamurabunshitsu@sozogaku.com
