



内容

- I. 巻頭言
 - II. 第43回講演会報告
 - III. 平成27年度定例研究会・各グループ活動報告
- 編集後記

I. 巻頭言 「品質保証システムと技術者倫理」



副会長 石橋 邦夫

ここ1年、国内では製品品質に係わるコンプライアンス問題が社会を揺るがしている。大きく報道されているものでも、免震装置性能、マンション杭打ち工事があり、直近では、自動車燃費、空港液状化防止工事とあまりにも多い。しかも、これら関連企業では過去も問題を起こして、社会に対し改善を約束したにも関わらず、何度も繰り返している状況にある。

当然、問題を起こした企業でも、社会の成熟とともに国際的にも要請のある CSR に取り組んでおり、その一環としての品質問題に対しては ISO9001 に基づく第三者による外部認証の品質保証システムを導入はしている。しかし、品質保証システムは「要件」「作法」は示してくれてはいるが、その最終的な実効性の成否はそれぞれ組織の活動に委ねられており、外部監査機関では十分には踏み込めないこともある。残念ながら、社会の皆様からは、結果として『品質保証システムは十分には機能していない』と言われても止むを得ない状況である。

このような状況において、一番危惧されるのは、日常の品質保証活動においても、品質保証上の「クリティカルなルール」が意図的に無視、あるいは独善的判断で軽視されたり自分に都合の良い解釈をしたりして、結果として重大な製品欠陥が内包されるリスクが高いということが想起されることである。更に、法令や社内ルールは遵守し意図的な違反行為がないため、コンプライアンス問題としては扱われてはいない、エアバック問題ほか人命に関わった社会的に大きな事故についても、今一步深く追求して「想定外の事故」をなくす意識、行動が十分でない「不作為的な行為」による結果である可能性は否定できない。

ISO9001 などの品質保証システムの究極の目的の一つは「購入者、消費者の立場」での信頼性の提供であるが、その前提として必要なのは、「供給者側の立場」での確信を持った品質・信頼性の提供である。しかし、このことはある局面では、「意図的なルール無視のバイオレーション」や、「確証

バイアスなどの無意識の心理バイアス」によって、「狭窄的」「独善的」「慢心的」な意識、行動に陥り易いことを示している。このため、いかに優れた品質保証システムといえども、その実効的な成果には、技術者個人としての技術者倫理と、組織の風土、文化という組織倫理の両輪の存在が欠かせない。上述のコンプライアンス問題事例は、明らかに意図的なバイオレーションがもたらした結果であるが、技術者や企業の倫理的行動に求められる「社会的要求レベル」の急激な上昇速度に対し、個人の技術者倫理レベルと組織倫理のレベルが追従できず、非常に難しい命題であることを示している。したがって、各組織のトップや管理者は、前述のコンプライアンス問題と、その根本原因と考えられる「安全(品質)>>コスト、工程など」の意識や行動が組織内では不十分であるということを常に意識し、先手に対応し続けなければならない。

原子力分野に目を向けると、チェルノブイリ以降「安全文化の醸成」という大号令が出され、品質保証システムが真に実効的となるためのKEYは示された。しかし、結果としては、東日本大震災後に国際原子力機関(IAEA)から、「官庁、企業を含め安全文化が未成熟」という厳しい評価がなされた。この「倫理的な命題」についても、その成熟については各個人、各組織に委ねられているのであるが、原子力安全推進協会(JANSI)H26年度年次フォーラム報告会(H27.4.23)で科学ジャーナリストの小出重幸氏は、事業者トップが判を押したように「安全文化」という言葉を使用することに、「上から目線」という感想を述べられた。我々には、このような評価に対して、このことを真摯に受け止め、「安全文化の醸成」を単なるスローガンや掛け声に終わらせないような更に木目細かな具体的な取り組みが求められている。

II. 第43回講演会報告

テーマ：STAMP/STPA、及びSTAMP/CASTについて

～システム理論に基づく事故モデルを用いたハザード分析および事故解析～

平成28年3月7日に、有人宇宙システム株式会社より、宇宙機ソフトウェアの検証及び安全解析などの研究の専門家である野本秀樹氏と星野伸行氏をお招きし、安全文化の醸成活動に取り組む原子力業界における、プラント安全確保の参考とすべく、「STAMP(System-Theoretic Accident Model and Process):システム理論に基づく事故モデル」を用いたハザード分析および事故解析などについてご講演をいただきました。

今回のご講演は、42名の受講者が参加し、質疑応答でも関連な意見交換が行われました。以下にその概要を報告いたします。

【講師ご略歴】

野本 秀樹氏

日本初ソフトウェアIV&V(Independent Verification and Validation)事業開始
ワシントン州立大Nancy Leveson教授と宇宙ステーション補給機(こうのとり)の
ソフトウェア独立評価を実施。こうのとり1号機の飛行管制官として実運用担当。
以降、5号機までランデブ飛行取り纏め
現在、有人宇宙システム株式会社安全開発保証部ソフトウェアグループリーダー
として STAMP/STPAを中心とする独立評価業務を取り纏め、宇宙、自動車、
原子力、鉄道等の幅広い分野にご活躍中。



星野 伸行氏

宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発する宇宙機ソフトウェアのIV&VIに従事。
・マサチューセッツ工科大Nancy Leveson教授らとともに、仕様のモデルを用いた
検証手法や、システム理論に基づく安全解析手法を適用し、宇宙機のミッション
サクセスに貢献。
・宇宙機で培った手法を民間に拡大する活動を展開中。



1. STAMP(Systems-Theoretic Accident Model and Process)理論について

1.1 背景

ソフトウェアの安全解析は、ハードウェアのように、故障に起因するハザード発生要因を識別し、対策を立てる FTA(フォールトツリー図)/FMEA(影響分析表)を用いた手法が使えないことが1990年代から言われてきた。

その理由は、ソフトウェアはそもそも「故障」しない(劣化しない)、書かれた通りに必ず動くものであり、故障しないモノに対して、FTA/FMEAを行うことができないからである。

1.2 課題

(1)かつて、ソフトウェアの安全性は、ソフトウェアの信頼性で保証できるとされていた。

1970～1980年代のソフトウェアは、一つのコンポーネントでしかなかった。何かのメカニカルな動作を代替するためにソフトのロジックを使うもので、一つの部品の機能を代替するものでしかなかった。

この時代、ソフトウェアの安全性は、ソフトウェアの信頼性で保証できるとされており、ソフトウェアが、100%動くかどうかで安全かどうか判断しようとしていた。

基本的にテストを潜り抜けてソフトウェアは作られるので、その時点で信頼性は100%となり、安全性は保証できるとされていた。

(2)ソフトウェアの信頼性を上げてても安全性は上がらない。

これに対して、Nancy Leveson が世に問うた課題(1995年出版“Safeware”)とは、「ソフトウェアは部品ではなく、システム全てを統御し、かつ、部品のように個別に切り出して語ることができない。部品そのものの信頼性が重要ではなくて、その部品がどこで使われ、その部品と周囲との関わり合いがどういふものがソフトウェアの安全性で一番重要である」ということである。

すなわち、ソフトウェアは、単なる部品ではなく、全体であり、ソフトウェアの信頼性を上げてても安全性は上がらない。逆に下がることもある。

(3)信頼性が高いのに安全ではない事例 <Arian5 ロケット爆発事故>

Arian4 で実績を積んだ高信頼度制御ソフトウェアを搭載した Arian5 ロケットが爆発した。これは、Arian4(真っ直ぐ打上)と Arian5(斜めに打上)の軌道の違いにより、横方向速度を保存している変数がオーバーフロー(8bitで不足)し、冗長切り替えしたが、同じ箇所ですべて同じオーバーフローを再度起こし、軌道制御ができなくなり、指令破壊した。

信頼度抜群(厳しいソフトウェア開発プロセスを積んできた)であることは、安全性の高さとイコールではない。安全性は、安全性の尺度でしか語れない。

冗長切り替えに頼った設計者が思考停止してしまったと Nancy Leveson は語る。

1.3 解決方法

(1)ソフトウェアの信頼性ではなく、安全性をどう改善するか？

安全性の向上のためには、安全性を脅かすメカニズム(事故モデル)を定式化しなければならない。そのために、STAMP:システム理論に基づく事故モデルとその使い方が重要である。

(2012年出版“Engineering a Safer World”)

(2)事故モデル

①従来の事故モデル

ソフトウェアに起因する事故は、ソフトウェアの故障(誤動作)により発生すると考えたが、ソフトウェアを「誤動作」させる原因は無数にある。無限の原因を全て解決はできないので、開発プロセスの向上で解決(信頼性の向上)しようとした。

言い換えれば、ソフトウェアのバグの種類を幾ら挙げても終わらないので、しっかり作ることで置き換えようとした。

②新たな事故モデル=>インターフェースに着目する新たな事故モデル

ソフトウェアに起因する事故は、ソフトウェアの安全制御アクションが働かないことにより起こる。

故障によって起こるのではなく、もともと安全にしようと考えて作り込まれている機能がうまく働かないことで起るとい事故モデルを考える。

アクションが働かない原因という視点を持つと、原因を有限化することができる。セーフティクリティカルなシステムは全て以下の構造モデルになると定義して分析する。

A. 安全コントローラ(制御器)=ソフトウェアのロジック

B. 制御対象プロセス=被コントロールの対象(ソフトウェア又はハードウェア)

AからBへのコントロールアクションが出ない、又はBからAへのフィードバックが出ないことが事故の根本原因になる。

(3)コントロールアクション(Control Action)が働かない原因

4段階で“安全”と“不安全”を二分岐させ完全なカテゴリーに有限個化する。

- ① コントロールアクションが提供されない
- ② コントロールアクションが間違って提供される
- ③ コントロールアクションの提供が早い・遅い
- ④ コントロールアクションの提供が止まる・終わらない

正しいコントロールアクションが正しいタイミングで最後まで正しく提供されれば安全。それ以外の安全でなくなるケースを分析し網羅的に識別することが STAMP の事故モデルである。

1.4 まとめ

STAMP 理論の目指すものは、無限の誤動作発生原因を解決するための信頼性向上という逃げの戦略から脱却し、コントロールアクションが働かないと事故になるという事故モデルの導入によって、ハザード原因を有限個化し、ソフトウェアのハザード分析を実現することである。

1.5 主な実績

- (1)HTV, GPM(Global Precipitation Measurement)等、JAXA の人工衛星のソフトウェア独立評価に適用。HTV は世界で唯一の補給機として、宇宙ステーションへの最も安全なドッキング方式の基準となる。
- (2)2012 年以降、STAMP/STPA 採用の需要が高まり、原子力、自動車、鉄道などの安全上クリティカルな分野で利用実績が急激に増加。
- (3)2015 年 IPA(情報処理推進機構)が STAMP/STPA を基幹ソフトウェア安全解析手法としてプロモート。

2. 安全解析手法 STAMP/STPAの概要とその適用例

2.1 STAMP/STPA の概要

STPA(STAMP based Process Analysis)とは、ハザード解析に適用される、STAMP に基づく安全解析手法であり、マサチューセッツ工科大 Nancy Leveson 教授が提唱したものである。

複数のコントローラが介在する複雑なシステムに対する安全解析の方法論であり、システムを構成するサブシステムやコンポーネントに不具合がなくとも、サブシステムやコンポーネントの組み合わせによって全体のシステムにおける不具合が発生すると考えて解析を行う。

2.2 STAMP/STPA の特徴

コントロールストラクチャ(Control Structure)図とコントロールループ(Control Loop)図にガイドワードを適用する分析手法である。

特徴としては、複数の機器や組織(人間)が、相互作用を行う複雑なシステムにおいて、相互作用のハザード要因を識別するもので、過去の事件事例データに基づくガイドワードにより網羅的に分析でき、かつ、システム全体の振る舞いを確認しながら分析ができる。

一方、FTA/FMEAを用いて分析する手法は、機器や組織の単一故障をハザード要因として識別し、分岐条件を論理的に組むことで網羅的に分析できるが、深く分析できる反面、全体的な視野での分析が難しい。

2.3 分析の流れとその特徴

(1) Step.0 ハザード制御に関わる Control Structure の作成

＜特徴＞従来のハザード解析手法のような、個々のコンポーネント故障に着目するのではなく、複雑に連携するコンポーネント間の相互作用に関連するシステムレベルの問題に着目する。

(2) Step.1 非安全な Control Action の識別によるハザードシナリオの分析

＜特徴＞4つのガイドワードを用いて、危険な状態を導くコントローラの動作(非安全なコントロールアクション UCA:Unsafe Control Action)を識別する。

(3) Step.2 Control Loop の作成によるハザード要因の分析

＜特徴＞Control Loop 上のガイドワードを用いて、UCA の要因を識別する。特に、ソフトウェアやヒューマンに起因する要因として、コントローラの想定するプロセスモデルが、実際のプロセスの状態と矛盾することで起きる要因を識別する。

＜プロセスモデルとは＞

コントローラ、すなわち制御する側は、制御される側が今どんな状態なのか、周りのシステムがどんな状況なのか、状況判断するための内部変数を自分の中でもっていることが多い。頭脳を持ったコントローラは、その外界の状況を判断するためのモデルを持っている。それをプロセスモデルと呼ぶ。

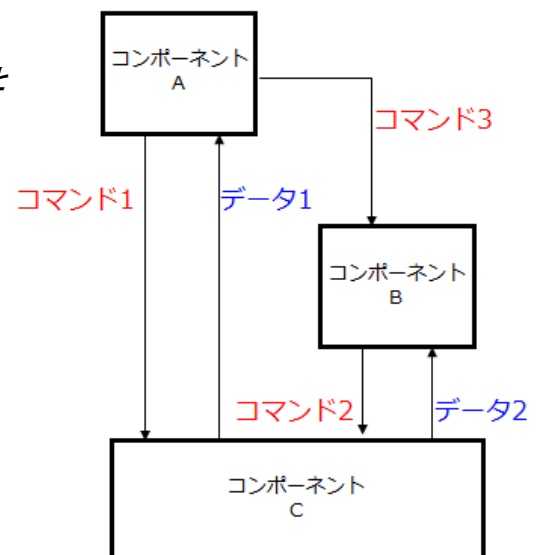
そのプロセスモデルが実際のプロセスの状態と矛盾することで致命的なハザードが起きる。プロセスモデルの矛盾を集中して分析していく、これがSTPAで識別しようとしている最重要なところである。

(4) Step.3 安全制約の識別

＜特徴＞ハザード要因を制御/除去するための安全制約を識別する。

2.4 Step.0 ハザード制御に関わる Control Structure の作成(右図参照)

システムのハザード制御に関係するコンポーネント(システム、機器、計算機、組織、人など)、及び、コンポーネント間のデータの授受を識別し、Control Structure Diagram を作成する。



赤字:Control Action(コマンド)

青字:フィードバックデータ

2. 5 Step.1 非安全な Control Action の識別によるハザードシナリオの分析

(1)Control Structure からハザード制御に必要な Control Action を抽出し、それらに対して 4 つのガイドワードを適用して、ハザードにつながるUCA を分析する。

- ①“Not Provided” 必要なコントロールアクションが供給されない
- ②“Incorrectly Provided” 誤った非安全なコントロールアクションが供給される
- ③“Provided Too Early, Too Late, or Out of Sequence” 意図しないタイミングで供給される
- ④“Stopped Too Soon” 途中で止まる(または必要以上に長く実施される)

(2)3つの Control Action に対して、ガイドワードを用いてマトリックスにして分析

コマンド1~3のそれぞれについて分析した結果、ハザードにつながるUCA が3件(赤字)識別されている。設計者、システム担当者、運用者等が集り、一つずつ丁寧に分析し、全員の一致する分析結果を記述する。

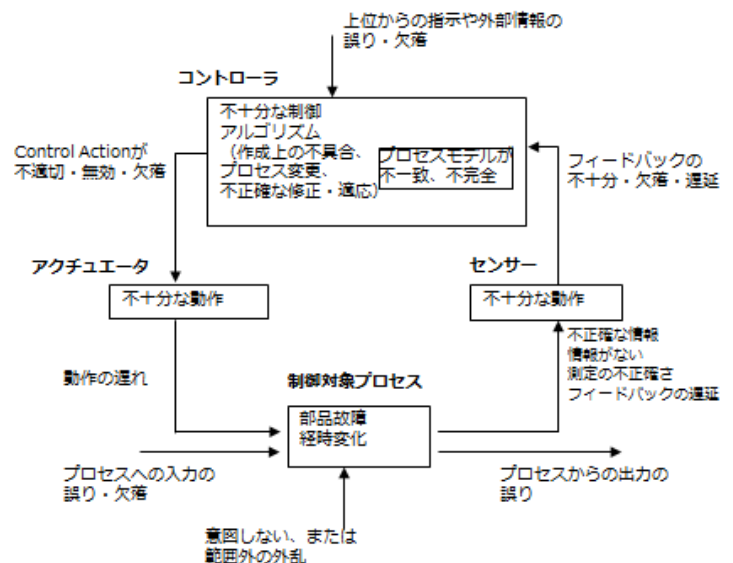
Control Structure に表現された Control Action	ハザードにつながるシナリオ			
	Not provided	Incorrectly provided	provided too early / late, out of sequence	Stopped too soon
コマンド1	XX条件下で、コマンド1が提供されない場合、ハザードに至る (UCA1)	コマンド1の内容が誤っていた場合、処理は停止するが、ハザードには至らない	コマンド1の提供が、コマンド2よりも遅れた場合、指示が上書きされ、ハザードに至る (UCA2)	コマンド1が途中で停止した場合、ハザードには至らない
コマンド2	コマンド2が提供されない場合、処理が開始しないが、ハザードには至らない	コマンド2の内容が誤っていた場合、処理は停止するが、ハザードには至らない	コマンド2の提供が、連続した場合、指示が累積され、ハザードに至る (UCA3)	コマンド2が途中で停止した場合、ハザードには至らない
コマンド3	コマンド3が提供されない場合、処理が開始しないが、ハザードには至らない	コマンド3の内容が誤っていた場合、処理は停止するが、ハザードには至らない	コマンド3の提供が、遅れ/早い場合、処理開始がずれるが、ハザードには至らない	コマンド3が途中で停止した場合、ハザードには至らない

2. 6 Step.2 Control Loop の作成によるハザード要因の分析

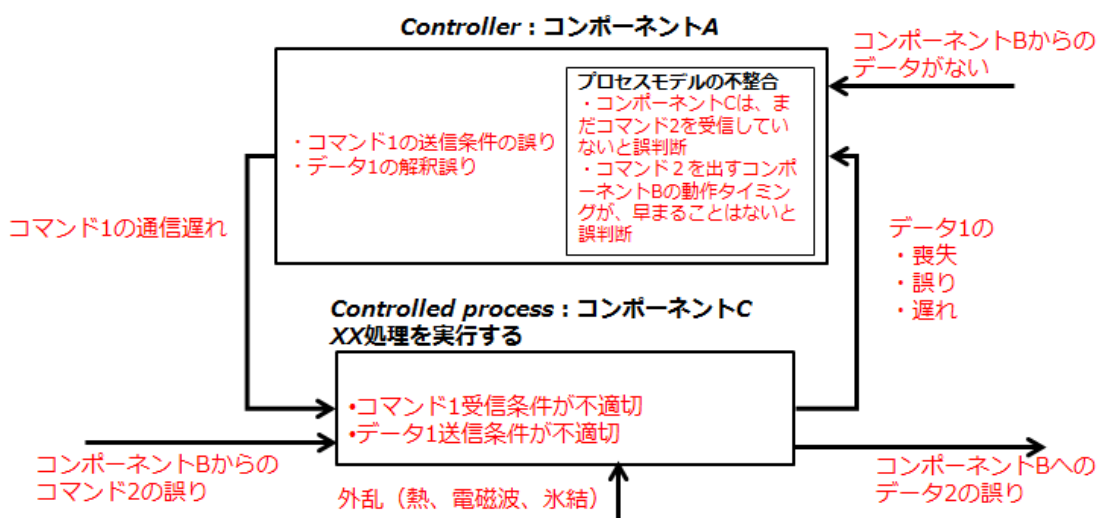
(1)STPA Step1 で識別したUCA 毎に、関係する Controller と Controlled Process を識別して Control Loop Diagram を作成し、ガイドワードを適用して、詳細なハザード要因を分析する。(下図参照)

<システム構成の詳細例>

- ①システムのある部分々々では制御する側とされる側、指示を出す側と出される側の二つの役割がある。両側が通信を行ったり、アクチュエータ等に物理的に指示が伝わる構成もあれば、コントローラに戻るフィードバックデータが存在する通信経路、センサーを介してコントローラが状況を判断する構成もある。
- ②更にコントローラは上位(例えば計算機ならオペレータという上位)の構成要素からの指示、あるいは外部からなんらかの情報が入ってくるケースがある。その情報が誤る要因や欠落する要因があり得る。



- ③ 指示を出す側と出される側とのシステム構成の中で、Control Loop 図を使って分析する手順がこのステップ2となる。すなわち、ステップ1で識別されたUCA毎に関係するコントローラとコントロールプロセスを識別して、この Control Loop Diagram を作成する。
 - ④ 図の中に書かれる言葉、誤り、欠落、プロセスモデルの不一致、フィードバックの欠落等13種類あるが、夫々がヒントになっている。コントロールループの中で、何か間違いが発生するとしたら、どれが間違いになるかを導き出すヒントを与えている。このヒントに基づいて詳細なハザード要因を分析していく。
- (2) 2. 5項 STPA Step1 で識別した UCA のうち、UCA2に対して例示
 ハザードシナリオを「コマンド 1 の提供が、コマンド 2 よりも遅れた場合、指示が上書きされ、ハザードに至る(UCA2)」とした場合に、コマンド 1 を提供する側(コンポーネント A)と受ける側(コンポーネント C)の間の Control Loop を作成する。(赤字が識別されたハザード要因)



2. 7 Step.3 安全制約の識別

Step.2 で識別したハザード要因毎に、ハザード要因を制御/除去するための安全制約を識別する。

<2. 6項(2)のハザード要因に対する安全制約の例>

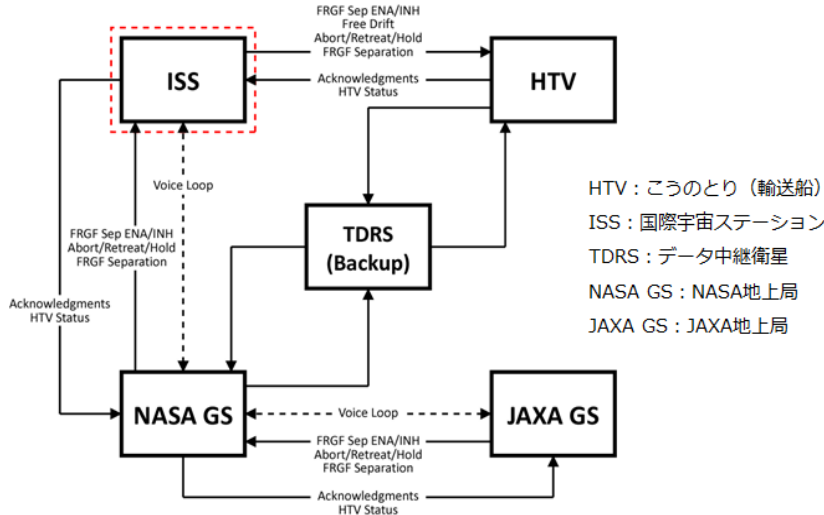
- ・コマンド1の通信遅れに対しては、コマンドが遅延しないこと(十分な通信容量を確保する)が安全制約となる。
- ・コンポーネント B からのデータがない、あるいはコマンド2を出すコンポーネント B の動作タイミングが早まることはないと誤判断するハザード要因に対しては、コンポーネント B の動作ステータスをコンポーネント A に伝え、動作の同期をとることが安全制約となる。

2. 8 宇宙機における STAMP/STPA の事例

次に、HTV(こうのとり)のシステムへ適用した具体的な事例について説明する。ここでは、最もクリティカルなフェーズである、ロボットアームによるキャプチャフェーズへの STPA 適用を Step 毎に説明する。

- (1)Step.0 システムのハザード制御に関係するコンポーネント、及びコンポーネント間のデータの授受を識別し、Control Structure Diagram を作成する。

(2)Step.1 Control Structure からハザード制御に必要な Control Action を抽出する。ここでは、キャプチャ時の通常のコマンドシーケンスを Control Action とする。Control Action に対して 4 つのガイドワードを適用し、ハザードにつながる8つのUCAを識別し、ハザードを分析する。(下図参照)



HTV : こうのとりの(輸送船)
 ISS : 国際宇宙ステーション
 TDRS : データ中継衛星
 NASA GS : NASA地上局
 JAXA GS : JAXA地上局

Control Action の識別: キャプチャ時の通常のコマンドシーケンス

#	Event/Command	from	to	Description
1	FRGF Sep ENA	JAXA GS	HTV	Enable FRGF separation in case of emergency
2	Free Drift (Deactivation)	ISS (Crew)	HTV	Transition from "Capture Point Hold Mode" to "Free Drift Mode" to disable the HTV guidance and control functions
C	Capture	ISS (Crew)	HTV	Manipulate the SSRMS to capture FRGF of the HTV
3	FRGF Sep INH	JAXA GS	HTV	Inhibit FRGF separation to prevent an unintended separation after the capture

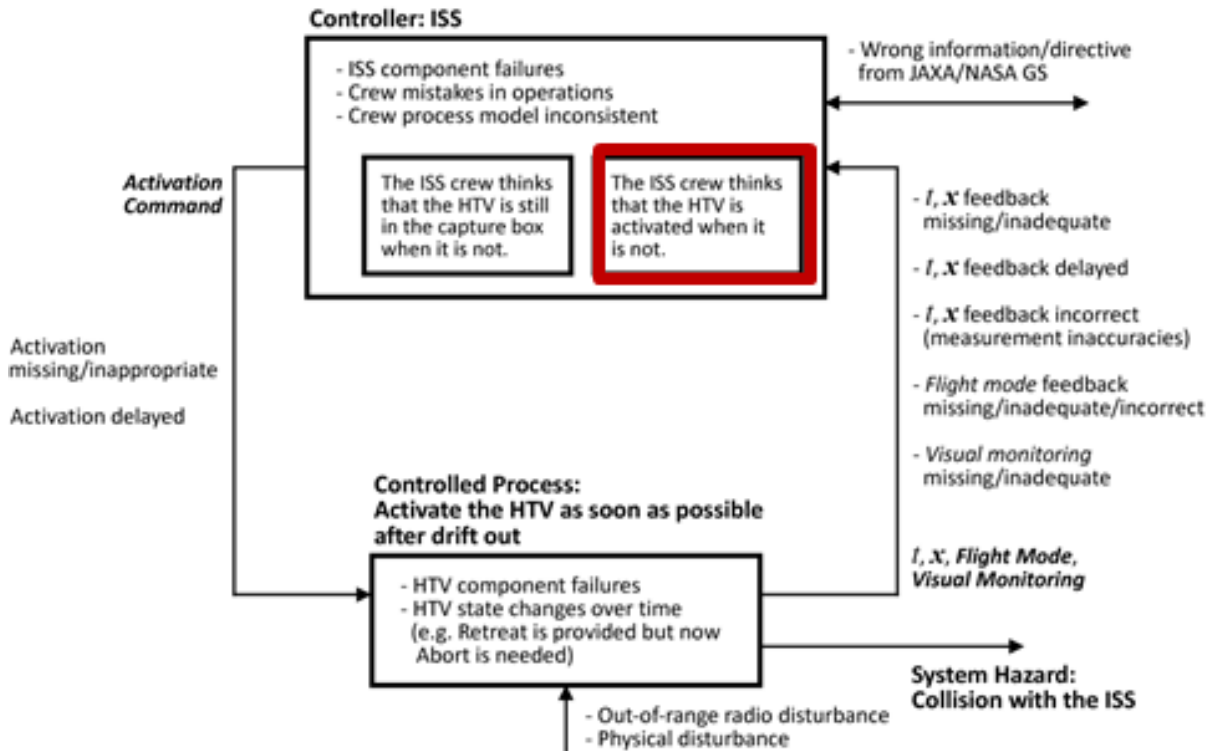
Control Action に対して 4 つのガイドワードを適用し、ハザードにつながる8つのUCA(下線部)を識別

#	Event/Command	Category 1 Not Provided	Category 2 Incorrectly Provided	Category 3 Provided	Category 4 Stopped Too Soon
1	FRGF Sep ENA	<u>If this is not detected and capture is started, the HTV will not be separated immediately in the emergency situation of the HTV being engaged incorrectly and relative to outside with the ISS.</u>	<u>If an Abort/Retreat/Hold command is provided instead of FRGF Sep ENA, and capture is started, the mission will end up incomplete or the capture process will have to be started over.</u>	<u>If FRGF separation is provided, nothing will happen since FRGF separation remains inhibited, both out of the capture box. In combination with no activation command, a late one, the HTV will remain a free-flying object that could collide with the ISS.</u>	<u>If FRGF Sep ENA is provided too early, it will just increase the time during which the HTV accepts an FRGF separation, which will then contribute to increasing the possibility of an unintended FRGF separation by crew error.</u>
2	Free Drift (Deactivation)	<u>It will not be possible to reactivate the HTV until the capture process is completed.</u>	<u>If an Abort/Retreat/Hold command is provided instead of Deactivation, an unintended Abort/Retreat/Hold will start processing, which is not hazardous, but the mission will end up incomplete or the capture process will have to be started over.</u>	<u>Since FRGF separation has been enabled, if FRGF Separation command is provided instead of Deactivation, the HTV will be no longer captured, and the mission will end up incomplete.</u>	<u>If FRGF Sep ENA is provided too late, it will only delay the capture process.</u>
C	Capture	<u>If capture is not performed, (2b).</u>	<u>If an Abort/Retreat/Hold command is provided instead of Deactivation, an unintended Abort/Retreat/Hold will start processing, which is not hazardous, but the mission will end up incomplete or the capture process will have to be started over.</u>	<u>Since FRGF separation has been enabled, if FRGF Separation command is provided, nothing will happen since FRGF separation remains inhibited, both out of the capture box. In combination with no activation command, a late one, the HTV will remain a free-flying object that could collide with the ISS.</u>	<u>If capture is stopped while the HTV is not fixed in the SSRMS and could collide with the ISS.</u>
3	FRGF Sep INH	<u>If FRGF Sep INH is not provided, the HTV is left capable of FRGF separation. An unintended FRGF separation after the successful capture could occur. (2a), (2b), (2c), (2d), (2e), (2f), (2g), (2h), (2i), (2j), (2k), (2l), (2m), (2n), (2o), (2p), (2q), (2r), (2s), (2t), (2u), (2v), (2w), (2x), (2y), (2z), (2aa), (2ab), (2ac), (2ad), (2ae), (2af), (2ag), (2ah), (2ai), (2aj), (2ak), (2al), (2am), (2an), (2ao), (2ap), (2aq), (2ar), (2as), (2at), (2au), (2av), (2aw), (2ax), (2ay), (2az), (2ba), (2bb), (2bc), (2bd), (2be), (2bf), (2bg), (2bh), (2bi), (2bj), (2bk), (2bl), (2bm), (2bn), (2bo), (2bp), (2bq), (2br), (2bs), (2bt), (2bu), (2bv), (2bw), (2bx), (2by), (2bz), (2ca), (2cb), (2cc), (2cd), (2ce), (2cf), (2cg), (2ch), (2ci), (2cj), (2ck), (2cl), (2cm), (2cn), (2co), (2cp), (2cq), (2cr), (2cs), (2ct), (2cu), (2cv), (2cw), (2cx), (2cy), (2cz), (2da), (2db), (2dc), (2dd), (2de), (2df), (2dg), (2dh), (2di), (2dj), (2dk), (2dl), (2dm), (2dn), (2do), (2dp), (2dq), (2dr), (2ds), (2dt), (2du), (2dv), (2dw), (2dx), (2dy), (2dz), (2ea), (2eb), (2ec), (2ed), (2ee), (2ef), (2eg), (2eh), (2ei), (2ej), (2ek), (2el), (2em), (2en), (2eo), (2ep), (2eq), (2er), (2es), (2et), (2eu), (2ev), (2ew), (2ex), (2ey), (2ez), (2fa), (2fb), (2fc), (2fd), (2fe), (2ff), (2fg), (2fh), (2fi), (2fj), (2fk), (2fl), (2fm), (2fn), (2fo), (2fp), (2fq), (2fr), (2fs), (2ft), (2fu), (2fv), (2fw), (2fx), (2fy), (2fz), (2ga), (2gb), (2gc), (2gd), (2ge), (2gf), (2gg), (2gh), (2gi), (2gj), (2gk), (2gl), (2gm), (2gn), (2go), (2gp), (2gq), (2gr), (2gs), (2gt), (2gu), (2gv), (2gw), (2gx), (2gy), (2gz), (2ha), (2hb), (2hc), (2hd), (2he), (2hf), (2hg), (2hh), (2hi), (2hj), (2hk), (2hl), (2hm), (2hn), (2ho), (2hp), (2hq), (2hr), (2hs), (2ht), (2hu), (2hv), (2hw), (2hx), (2hy), (2hz), (2ia), (2ib), (2ic), (2id), (2ie), (2if), (2ig), (2ih), (2ii), (2ij), (2ik), (2il), (2im), (2in), (2io), (2ip), (2iq), (2ir), (2is), (2it), (2iu), (2iv), (2iw), (2ix), (2iy), (2iz), (2ja), (2jb), (2jc), (2jd), (2je), (2jf), (2jg), (2jh), (2ji), (2jj), (2jk), (2jl), (2jm), (2jn), (2jo), (2jp), (2jq), (2jr), (2js), (2jt), (2ju), (2jv), (2jw), (2jx), (2jy), (2jz), (2ka), (2kb), (2kc), (2kd), (2ke), (2kf), (2kg), (2kh), (2ki), (2kj), (2kk), (2kl), (2km), (2kn), (2ko), (2kp), (2kq), (2kr), (2ks), (2kt), (2ku), (2kv), (2kw), (2kx), (2ky), (2kz), (2la), (2lb), (2lc), (2ld), (2le), (2lf), (2lg), (2lh), (2li), (2lj), (2lk), (2ll), (2lm), (2ln), (2lo), (2lp), (2lq), (2lr), (2ls), (2lt), (2lu), (2lv), (2lw), (2lx), (2ly), (2lz), (2ma), (2mb), (2mc), (2md), (2me), (2mf), (2mg), (2mh), (2mi), (2mj), (2mk), (2ml), (2mm), (2mn), (2mo), (2mp), (2mq), (2mr), (2ms), (2mt), (2mu), (2mv), (2mw), (2mx), (2my), (2mz), (2na), (2nb), (2nc), (2nd), (2ne), (2nf), (2ng), (2nh), (2ni), (2nj), (2nk), (2nl), (2nm), (2nn), (2no), (2np), (2nq), (2nr), (2ns), (2nt), (2nu), (2nv), (2nw), (2nx), (2ny), (2nz), (2oa), (2ob), (2oc), (2od), (2oe), (2of), (2og), (2oh), (2oi), (2oj), (2ok), (2ol), (2om), (2on), (2oo), (2op), (2oq), (2or), (2os), (2ot), (2ou), (2ov), (2ow), (2ox), (2oy), (2oz), (2pa), (2pb), (2pc), (2pd), (2pe), (2pf), (2pg), (2ph), (2pi), (2pj), (2pk), (2pl), (2pm), (2pn), (2po), (2pp), (2pq), (2pr), (2ps), (2pt), (2pu), (2pv), (2pw), (2px), (2py), (2pz), (2qa), (2qb), (2qc), (2qd), (2qe), (2qf), (2qg), (2qh), (2qi), (2qj), (2qk), (2ql), (2qm), (2qn), (2qo), (2qp), (2qq), (2qr), (2qs), (2qt), (2qu), (2qv), (2qw), (2qx), (2qy), (2qz), (2ra), (2rb), (2rc), (2rd), (2re), (2rf), (2rg), (2rh), (2ri), (2rj), (2rk), (2rl), (2rm), (2rn), (2ro), (2rp), (2rq), (2rr), (2rs), (2rt), (2ru), (2rv), (2rw), (2rx), (2ry), (2rz), (2sa), (2sb), (2sc), (2sd), (2se), (2sf), (2sg), (2sh), (2si), (2sj), (2sk), (2sl), (2sm), (2sn), (2so), (2sp), (2sq), (2sr), (2ss), (2st), (2su), (2sv), (2sw), (2sx), (2sy), (2sz), (2ta), (2tb), (2tc), (2td), (2te), (2tf), (2tg), (2th), (2ti), (2tj), (2tk), (2tl), (2tm), (2tn), (2to), (2tp), (2tq), (2tr), (2ts), (2tt), (2tu), (2tv), (2tw), (2tx), (2ty), (2tz), (2ua), (2ub), (2uc), (2ud), (2ue), (2uf), (2ug), (2uh), (2ui), (2uj), (2uk), (2ul), (2um), (2un), (2uo), (2up), (2uq), (2ur), (2us), (2ut), (2uu), (2uv), (2uw), (2ux), (2uy), (2uz), (2va), (2vb), (2vc), (2vd), (2ve), (2vf), (2vg), (2vh), (2vi), (2vj), (2vk), (2vl), (2vm), (2vn), (2vo), (2vp), (2vq), (2vr), (2vs), (2vt), (2vu), (2vv), (2vw), (2vx), (2vy), (2vz), (2wa), (2wb), (2wc), (2wd), (2we), (2wf), (2wg), (2wh), (2wi), (2wj), (2wk), (2wl), (2wm), (2wn), (2wo), (2wp), (2wq), (2wr), (2ws), (2wt), (2wu), (2wv), (2ww), (2wx), (2wy), (2wz), (2xa), (2xb), (2xc), (2xd), (2xe), (2xf), (2xg), (2xh), (2xi), (2xj), (2xk), (2xl), (2xm), (2xn), (2xo), (2xp), (2xq), (2xr), (2xs), (2xt), (2xu), (2xv), (2xw), (2xx), (2xy), (2xz), (2ya), (2yb), (2yc), (2yd), (2ye), (2yf), (2yg), (2yh), (2yi), (2yj), (2yk), (2yl), (2ym), (2yn), (2yo), (2yp), (2yq), (2yr), (2ys), (2yt), (2yu), (2yv), (2yw), (2yx), (2yy), (2yz), (2za), (2zb), (2zc), (2zd), (2ze), (2zf), (2zg), (2zh), (2zi), (2zj), (2zk), (2zl), (2zm), (2zn), (2zo), (2zp), (2zq), (2zr), (2zs), (2zt), (2zu), (2zv), (2zw), (2zx), (2zy), (2zz), (3a), (3b), (3c), (3d), (3e), (3f), (3g), (3h), (3i), (3j), (3k), (3l), (3m), (3n), (3o), (3p), (3q), (3r), (3s), (3t), (3u), (3v), (3w), (3x), (3y), (3z), (3aa), (3ab), (3ac), (3ad), (3ae), (3af), (3ag), (3ah), (3ai), (3aj), (3ak), (3al), (3am), (3an), (3ao), (3ap), (3aq), (3ar), (3as), (3at), (3au), (3av), (3aw), (3ax), (3ay), (3az), (3ba), (3bb), (3bc), (3bd), (3be), (3bf), (3bg), (3bh), (3bi), (3bj), (3bk), (3bl), (3bm), (3bn), (3bo), (3bp), (3bq), (3br), (3bs), (3bt), (3bu), (3bv), (3bw), (3bx), (3by), (3bz), (3ca), (3cb), (3cc), (3cd), (3ce), (3cf), (3cg), (3ch), (3ci), (3cj), (3ck), (3cl), (3cm), (3cn), (3co), (3cp), (3cq), (3cr), (3cs), (3ct), (3cu), (3cv), (3cw), (3cx), (3cy), (3cz), (3da), (3db), (3dc), (3dd), (3de), (3df), (3dg), (3dh), (3di), (3dj), (3dk), (3dl), (3dm), (3dn), (3do), (3dp), (3dq), (3dr), (3ds), (3dt), (3du), (3dv), (3dw), (3dx), (3dy), (3dz), (3ea), (3eb), (3ec), (3ed), (3ee), (3ef), (3eg), (3eh), (3ei), (3ej), (3ek), (3el), (3em), (3en), (3eo), (3ep), (3eq), (3er), (3es), (3et), (3eu), (3ev), (3ew), (3ex), (3ey), (3ez), (3fa), (3fb), (3fc), (3fd), (3fe), (3ff), (3fg), (3fh), (3fi), (3fj), (3fk), (3fl), (3fm), (3fn), (3fo), (3fp), (3fq), (3fr), (3fs), (3ft), (3fu), (3fv), (3fw), (3fx), (3fy), (3fz), (3ga), (3gb), (3gc), (3gd), (3ge), (3gf), (3gg), (3gh), (3gi), (3gj), (3gk), (3gl), (3gm), (3gn), (3go), (3gp), (3gq), (3gr), (3gs), (3gt), (3gu), (3gv), (3gw), (3gx), (3gy), (3gz), (3ha), (3hb), (3hc), (3hd), (3he), (3hf), (3hg), (3hh), (3hi), (3hj), (3hk), (3hl), (3hm), (3hn), (3ho), (3hp), (3hq), (3hr), (3hs), (3ht), (3hu), (3hv), (3hw), (3hx), (3hy), (3hz), (3ia), (3ib), (3ic), (3id), (3ie), (3if), (3ig), (3ih), (3ii), (3ij), (3ik), (3il), (3im), (3in), (3io), (3ip), (3iq), (3ir), (3is), (3it), (3iu), (3iv), (3iw), (3ix), (3iy), (3iz), (3ja), (3jb), (3jc), (3jd), (3je), (3jf), (3jg), (3jh), (3ji), (3jj), (3jk), (3jl), (3jm), (3jn), (3jo), (3jp), (3jq), (3jr), (3js), (3jt), (3ju), (3jv), (3jw), (3jx), (3jy), (3jz), (3ka), (3kb), (3kc), (3kd), (3ke), (3kf), (3kg), (3kh), (3ki), (3kj), (3kl), (3km), (3kn), (3ko), (3kp), (3kq), (3kr), (3ks), (3kt), (3ku), (3kv), (3kw), (3kx), (3ky), (3kz), (3la), (3lb), (3lc), (3ld), (3le), (3lf), (3lg), (3lh), (3li), (3lj), (3lk), (3ll), (3lm), (3ln), (3lo), (3lp), (3lq), (3lr), (3ls), (3lt), (3lu), (3lv), (3lw), (3lx), (3ly), (3lz), (3ma), (3mb), (3mc), (3md), (3me), (3mf), (3mg), (3mh), (3mi), (3mj), (3mk), (3ml), (3mm), (3mn), (3mo), (3mp), (3mq), (3mr), (3ms), (3mt), (3mu), (3mv), (3mw), (3mx), (3my), (3mz), (3na), (3nb), (3nc), (3nd), (3ne), (3nf), (3ng), (3nh), (3ni), (3nj), (3nk), (3nl), (3nm), (3nn), (3no), (3np), (3nq), (3nr), (3ns), (3nt), (3nu), (3nv), (3nw), (3nx), (3ny), (3nz), (3oa), (3ob), (3oc), (3od), (3oe), (3of), (3og), (3oh), (3oi), (3oj), (3ok), (3ol), (3om), (3on), (3oo), (3op), (3oq), (3or), (3os), (3ot), (3ou), (3ov), (3ow), (3ox), (3oy), (3oz), (3pa), (3pb), (3pc), (3pd), (3pe), (3pf), (3pg), (3ph), (3pi), (3pj), (3pk), (3pl), (3pm), (3pn), (3po), (3pp), (3pq), (3pr), (3ps), (3pt), (3pu), (3pv), (3pw), (3px), (3py), (3pz), (3qa), (3qb), (3qc), (3qd), (3qe), (3qf), (3qg), (3qh), (3qi), (3qj), (3qk), (3ql), (3qm), (3qn), (3qo), (3qp), (3qq), (3qr), (3qs), (3qt), (3qu), (3qv), (3qw), (3qx), (3qy), (3qz), (3ra), (3rb), (3rc), (3rd), (3re), (3rf), (3rg), (3rh), (3ri), (3rj), (3rk), (3rl), (3rm), (3rn), (3ro), (3rp), (3rq), (3rr), (3rs), (3rt), (3ru), (3rv), (3rw), (3rx), (3ry), (3rz), (3sa), (3sb), (3sc), (3sd), (3se), (3sf), (3sg), (3sh), (3si), (3sj), (3sk), (3sl), (3sm), (3sn), (3so), (3sp), (3sq), (3sr), (3ss), (3st), (3su), (3sv), (3sw), (3sx), (3sy), (3sz), (3ta), (3tb), (3tc), (3td), (3te), (3tf), (3tg), (3th), (3ti), (3tj), (3tk), (3tl), (3tm), (3tn), (3to), (3tp), (3tq), (3tr), (3ts), (3tt), (3tu), (3tv), (3tw), (3tx), (3ty), (3tz), (3ua), (3ub), (3uc), (3ud), (3ue), (3uf), (3ug), (3uh), (3ui), (3uj), (3uk), (3ul), (3um), (3un), (3uo), (3up), (3uq), (3ur), (3us), (3ut), (3uu), (3uv), (3uw), (3ux), (3uy), (3uz), (3va), (3vb), (3vc), (3vd), (3ve), (3vf), (3vg), (3vh), (3vi), (3vj), (3vk), (3vl), (3vm), (3vn), (3vo), (3vp), (3vq), (3vr), (3vs), (3vt), (3vu), (3vv), (3vw), (3vx), (3vy), (3vz), (3wa), (3wb), (3wc), (3wd), (3we), (3wf), (3wg), (3wh), (3wi), (3wj), (3wk), (3wl), (3wm), (3wn), (3wo), (3wp), (3wq), (3wr), (3ws), (3wt), (3wu), (3wv), (3ww), (3wx), (3wy), (3wz), (3xa), (3xb), (3xc), (3xd), (3xe), (3xf), (3xg), (3xh), (3xi), (3xj), (3xk), (3xl), (3xm), (3xn), (3xo), (3xp), (3xq), (3xr), (3xs), (3xt), (3xu), (3xv), (3xw), (3xx), (3xy), (3xz), (3ya), (3yb), (3yc), (3yd), (3ye), (3yf), (3yg), (3yh), (3yi), (3yj), (3yk), (3yl), (3ym), (3yn), (3yo), (3yp), (3yq), (3yr), (3ys), (3yt), (3yu), (3yv), (3yw), (3yx), (3yy), (3yz), (3za), (3zb), (3zc), (3zd), (3ze), (3zf), (3zg), (3zh), (3zi), (3zj), (3zk), (3zl), (3zm), (3zn), (3zo), (3zp), (3zq), (3zr), (3zs), (3zt), (3zu), (3zv), (3zw), (3zx), (3zy), (3zz), (4a), (4b), (4c), (4d), (4e), (4f), (4g), (4h), (4i), (4j), (4k), (4l), (4m), (4n), (4o), (4p), (4q), (4r), (4s), (4t), (4u), (4v), (4w), (4x), (4y), (4z), (4aa), (4ab), (4ac), (4ad), (4ae), (4af), (4ag), (4ah), (4ai), (4aj), (4ak), (4al), (4am), (4an), (4ao), (4ap), (4aq), (4ar), (4as), (4at), (4au), (4av), (4aw), (4ax), (4ay), (4az), (4ba), (4bb), (4bc), (4bd), (4be), (4bf), (4bg), (4bh), (4bi), (4bj), (4bk), (4bl), (4bm), (4bn), (4bo), (4bp), (4bq), (4br), (4bs), (4bt), (4bu), (4bv), (4bw), (4bx), (4by), (4bz), (4ca), (4cb), (4cc), (4cd), (4ce), (4cf), (4cg), (4ch), (4ci), (4cj), (4ck), (4cl), (4cm), (4cn), (4co), (4cp), (4cq), (4cr), (4cs), (4ct), (4cu), (4cv), (4cw), (4cx), (4cy), (4cz), (4da), (4db), (4dc), (4dd), (4de), (4df), (4dg), (4dh), (4di), (4dj), (4dk), (4dl), (4dm), (4dn), (4do), (4dp), (4dq), (4dr), (4ds), (4dt), (4du), (4dv), (4dw), (4dx), (4dy), (4dz), (4ea), (4eb), (4ec), (4ed), (4ee), (4ef), (4eg), (4eh), (4ei), (4ej), (4ek), (4el), (4em), (4en), (4eo), (4ep), (4eq), (4er), (4es), (4et), (4eu), (4ev), (4ew), (4ex), (4ey), (4ez), (4fa), (4fb), (4fc), (4fd), (4fe), (4ff), (4fg), (4fh), (4fi), (4fj), (4fk), (4fl), (4fm), (4fn), (4fo), (4fp), (4fq), (4fr), (4fs), (4ft), (4fu), (4fv), (4fw), (4fx), (4fy), (4fz), (4ga), (4gb), (4gc), (4gd), (4ge), (4gf), (4gg), (4gh), (4gi), (4gj), (4gk), (4gl), (4gm), (4gn), (4go), (4gp), (4gq), (4gr), (4gs), (4gt), (4gu), (4gv), (4gw), (4gx), (4gy), (4gz), (4ha), (4hb), (4hc), (4hd), (4he), (4hf), (4hg), (4hh), (4hi), (4hj), (4hk), (4hl), (4hm), (4hn), (4ho), (4hp), (4hq), (4hr), (4hs), (4ht), (4hu), (4hv), (4hw), (4hx), (4hy), (4hz), (4ia), (4ib), (4ic), (4id), (4ie), (4if), (4ig), (4ih), (4ii), (4ij), (4ik), (4il), (4im), (4in), (4io), (4ip), (4iq), (4ir), (4is), (4it), (4iu), (4iv), (4iw), (4ix), (4iy), (4iz), (4ja), (4jb), (4jc), (4jd), (4je), (4jf), (4jg), (4jh), (4ji), (4jj), (4jk), (4jl), (4jm), (4jn), (4jo), (4jp), (4jq), (4jr), (4js), (4jt), (4ju), (4jv), (4jw), (4jx), (4jy), (4jz), (4ka), (4kb), (4kc), (4kd), (4ke), (4kf), (4kg), (4kh), (4ki), (4kj), (4kl), (4km), (4kn), (4ko), (4kp), (4kq), (4kr), (4ks), (4kt), (4ku), (4kv), (4kw), (4kx), (4ky), (4kz), (4la), (4lb), (4lc), (4ld), (4le), (4lf), (4lg), (4lh), (4li), (4lj), (4lk), (4ll), (4lm), (4ln), (4lo), (4lp), (4lq), (4lr), (4ls), (4lt), (4lu), (4lv), (4lw), (4lx), (4ly), (4lz), (4ma), (4mb), (4mc), (4md), (4me), (4mf), (4mg), (4mh), (4mi), (4mj), (4mk), (4ml), (4mm), (4mn), (4mo), (4mp), (4mq), (4mr), (4ms), (4mt), (4mu), (4mv), (4mw), (4mx), (4my), (4mz), (4na), (4nb), (4nc), (4nd), (4ne), (4nf), (4ng), (4nh), (4ni), (4nj), (4nk), (4nl), (4nm), (4nn), (4no), (4np), (4nq), (4nr), (4ns), (4nt), (4nu), (4nv), (4nw), (4nx), (4ny), (4nz), (4oa), (4ob), (4oc), (4od), (4oe), (4of), (4og), (4oh), (4oi), (4oj), (4ok), (4ol), (4om), (4on), (4oo), (4op), (4oq), (4or), (4os), (4ot), (4ou), (4ov), (4ow), (4ox), (4oy), (4oz), (4pa), (4pb), (4pc), (4pd), (4pe), (4pf), (4pg), (4ph), (4pi), (4pj), (4pk), (4pl), (4pm), (4pn), (4po), (4pp), (4pq), (4pr), (4ps), (4pt), (4pu), (4pv), (4pw), (4px), (4py), (4pz), (4qa), (4qb), (4qc), (4qd), (4qe), (4qf), (4qg), (4qh), (4qi), (4qj), (4qk), (4ql), (4qm), (4qn), (4qo), (4qp), (4qq), (4qr), (4qs), (4qt), (4qu), (4qv), (4qw), (4qx), (4qy), (4qz), (4ra), (4rb), (4rc), (4rd), (4re), (4rf), (4rg), (4rh), (4ri), (4rj), (4rk), (4rl), (4rm), (4rn), (4ro), (4rp), (4rq), (4rr), (4rs), (4rt), (4ru), (4rv), (4rw), (4rx), (4ry), (4rz), (4sa), (4sb), (4sc), (4sd), (4se), (4sf), (4sg), (4sh), (4si), (4sj), (4sk), (4sl), (4sm), (4sn), (4so), (4sp), (4sq), (4sr), (4ss), (4st), (4su), (4sv), (4sw), (4sx), (4sy), (4sz), (4ta), (4tb), (4tc), (4td), (4te), (4tf), (4tg), (4th), (4ti), (4tj), (4tk), (4tl), (4tm), (4tn), (4to), (4tp), (4tq), (4tr), (4ts), (4tt), (4tu), (4tv), (4tw), (4tx), (4ty), (4tz), (4ua), (4ub), (4uc), (4ud), (4ue), (4uf), (4ug), (4uh), (4ui), (4uj), (4uk), (4ul), (4um), (4un), (4uo), (4up), (4uq), (4ur), (4us), (4ut), (4uu), (4uv), (4uw), (4ux), (4uy), (4uz), (4va), (4vb), (4vc), (4vd), (4ve), (4vf), (4vg), (4vh), (4vi), (4vj), (4vk), (4vl), (4vm), (4vn), (4vo), (4vp), (4vq), (4vr), (4vs), (4vt), (4vu), (4vv), (4vw), (4vx), (4vy), (4vz), (4wa), (4wb), (4wc), (4wd), (4we), (4wf), (4wg), (4wh), (4wi), (4wj), (4wk), (4wl), (4wm), (4wn), (4wo), (4wp), (4wq), (4wr), (4ws), (4wt), (4wu), (4wv), (4ww), (4wx), (4wy), (4wz), (4xa), (4xb), (4xc), (4xd), (4xe), (4xf), (4xg), (4xh), (4xi), (4xj), (4xk), (4xl), (4xm), (4xn), (4xo), (4xp), (4xq), (4xr), (4xs), (4xt), (4xu), (4xv), (4xw), (4xx), (4xy), (4xz), (4ya), (4yb), (4yc), (4yd), (4ye), (4yf), (4yg), (4yh), (4yi), (4yj), (4yk), (4yl), (4ym), (4yn), (4yo), (4yp), (4yq), (4yr), (4ys), (4yt), (4yu), (4yv), (4yw), (4yx), (4yy), (4yz), (4za), (4zb), (4zc), (4zd), (4ze), (4zf), (4zg), (4zh), (4zi), (4zj), (4zk), (4zl), (4zm), (4zn), (4zo), (4zp), (4zq), (4zr), (4zs), (4zt), (4zu), (4zv), (4zw), (4zx), (4zy), (4zz), (5a), (5b), (5c), (5d), (5e), (5f), (5g), (5h), (5i), (5j), (5k), (5l), (5m), (5n), (5o), (5p), (5q), (5r), (5s), (5t), (5u), (5v), (5w), (5x), (5y), (5z), (5aa), (5ab), (5ac), (5ad), (5ae), (5af), (5ag), (5ah), (5ai), (5aj), (5ak), (5al), (5am), (5an), (5ao), (5ap), (5aq), (5ar), (5as), (5at), (5au), (5av), (5aw), (5ax), (5ay), (5az), (5ba), (5bb), (5bc), (5bd), (5be), (5bf), (5bg), (5bh), (5bi), (5bj), (5bk), (5bl), (5bm), (5bn), (5bo), (5bp), (5bq), (5br), (5bs), (5bt), (5bu), (5bv), (5bw), (5bx), (5by), (5bz), (5ca), (5cb), (5cc), (5cd), (5ce), (5cf), (5cg), (5ch), (5ci), (5cj), (5ck), (5cl), (5cm), (5cn), (5co), (5cp), (5cq), (5cr), (5cs), (5ct), (5cu), (5cv), (5cw), (5cx), (5cy), (5cz), (5da), (5db), (5dc), (5dd), (5de), (5df), (5dg), (5dh), (5di), (5dj), (5dk), (5dl), (5dm), (5dn), (5do), (5dp), (5dq), (5dr), (5ds), (5dt), (5du), (5dv), (5dw), (5dx), (5dy), (5dz), (5ea), (5eb), (5ec), (5ed), (5ee), (5ef), (5eg), (5eh), (5ei), (5ej), (5ek), (5el), (5em), (5en), (5eo), (5ep), (5eq), (5er), (5es), (5et), (5eu), (5ev), (5ew), (5ex), (5ey), (5ez), (5fa), (5fb), (5fc), (5fd), (5fe), (5ff), (5fg), (5fh), (5fi), (5fj), (5fk), (5fl), (5fm), (5fn), (5fo), (5fp), (5fq), (5fr), (5fs), (5ft), (5fu), (5fv), (5fw), (5fx), (5fy), (5fz), (5ga), (5gb), (5gc), (5gd), (5ge), (5gf), (5gg), (5gh), (5gi), (5gj), (5gk), (5gl), (5gm), (5gn), (5go), (5gp), (5gq), (5gr), (5gs), (5gt), (5gu), (5gv), (5gw), (5gx), (5gy), (5gz), (5ha), (5hb), (5hc), (5hd), (5he), (5hf), (5hg), (5hh), (5hi), (5hj), (5hk), (5hl), (5hm), (5hn), (5ho), (5hp), (5hq), (5hr), (5hs), (5ht), (5hu), (5hv), (5hw), (5hx), (5hy), (5hz), (5ia), (5ib), (5ic), (5id), (5ie), (5if), (5ig), (5ih), (5ii), (5ij), (5ik), (5il), (5im), (5in), (5io), (5ip), (5iq), (5ir), (5is), (5it), (5iu), (5iv), (5iw), (5ix), (5iy), (5iz), (5ja), (5jb), (5jc), (5jd), (5je), (5jf), (5jg), (5jh), (5ji), (5jj), (5jk), (5jl), (5jm), (5jn), (5jo), (5jp), (5jq), (5jr), (5js), (5jt), (5ju), (5jv), (5jw), (5jx), (5jy), (5jz), (5ka), (5kb), (5kc), (5kd), (5ke), (5kf), (5kg), (5kh), (5ki), (5kj), (5kl), (5km), (5kn), (5ko), (5kp), (5kq), (5kr), (5ks), (5kt), (5ku), (5kv), (5kw), (5kx), (5ky), (5kz), (5la), (5lb), (5lc), (5ld), (5le), (5lf), (5lg), (5lh), (5li), (5lj), (5lk), (5ll), (5lm), (5ln), (5lo), (5lp), (5lq), (5lr), (5ls), (5lt), (5lu), (5lv), (5lw), (5lx), (5ly), (5lz), (5ma), (5mb), (5mc), (5md), (5me), (5mf), (5mg), (5mh), (5mi), (5mj), (5mk), (5ml), (5mm), (5mn), (5mo), (5mp), (5mq), (5mr), (5ms), (5mt), (5mu), (5mv), (5mw), (5mx), (5my), (5mz), (5na), (5nb), (5nc), (5nd), (5ne), (5nf), (5ng), (5nh), (5ni), (5nj), (5nk), (5nl), (5nm), (5nn), (5no), (5np), (5nq), (5nr), (5ns), (5nt), (5nu), (5nv), (5nw), (5nx), (5ny), (5nz), (5oa), (5ob), (5oc), (5od), (5oe), (5of), (5og), (5oh), (5oi), (5oj), (5ok), (5ol), (5om), (5on), (5oo), (5op), (5oq), (5or), (5os), (5ot), (5ou), (5ov), (5ow), (5ox), (5oy), (5oz), (5pa), (5pb), (5pc), (5pd), (5pe), (5pf), (5pg), (5ph), (5pi), (5pj), (5pk), (5pl), (5pm), (5pn), (5po), (5pp), (5pq), (5pr), (5ps), (5pt), (5pu), (5pv), (5pw), (5px), (5py), (5pz), (5qa), (5qb), (5qc), (5qd), (5qe), (5qf), (5qg), (5qh), (5qi), (5qj), (5qk), (5ql), (5qm), (5qn), (5qo), (5qp), (5qq), (5qr), (5qs), (5qt), (5qu), (5qv), (5qw), (5qx), (5qy), (5qz), (5ra), (5rb), (5rc), (5rd), (5re), (5rf), (5rg), (5rh), (5ri), (5rj), (5rk), (5rl), (5rm), (5rn), (5ro), (5rp), (5rq), (5</u>			

(3)Step.2 代表例(1b)のハザードシナリオについて、Controller と Controlled Process を識別して Control Loop Diagram を作成し、ガイドワードを適用して、詳細なハザード要因を分析する。
分析の結果、従来のハザード解析(FTA)では識別されなかった原因が幾つか識別された。

例:ISS クルーの制御プロセスモデルの矛盾

- ・HTVは“無制御状態”だが、HTVが”制御状態”だとISSクルーが誤認し、クルーはHTV制御開始のコマンドを送信しない。
- ・このままの状況が続き、HTVは安全が確保されたキャプチャ可能範囲から徐々に外れ、ISSに衝突する。



(4)Step.3 安全制約の識別

例:ISS クルーの制御プロセスモデルの矛盾を起こさないためには？

クルーは、HTV から送られてくるテレメトリの中の”Flight Mode”が”Free Drift”から”Retreat”、”Hold”、及び”Abort”になったことによりHTVが”無制御状態”から”制御状態”へ変化したことを認識することをルール化する。

(5)STPAによって、未然に新しいハザード要因を見つけることができ、システムの安全に寄与できたことで、以降、継続して宇宙器のシステムにSTPAを採用している。

3. 不具合分析手法 STAMP/CAST

3.1 概要

CAST(Causal Analysis using System Theory)とは、STAMPに基づく不具合分析手法であり、マサチューセッツ工科大 Nancy Leveson 教授が提唱したものである。

複数のコントローラが介在する複雑なシステムに対する不具合分析の方法論であり、システムを構成するサブシステムやコンポーネントに不具合がなくとも、サブシステムやコンポーネントの組み合わせによって全体のシステムにおける不具合が発生すると考えて分析を行う。

(1)事故は、単純なコンポーネント故障のみを原因とせず、コンポーネントの振る舞い、又はコンポーネント間の相互干渉が、システムの安全制約(コンポーネントの振る舞いに関わる物理的、人、又は社会に関わる制約)を違反した場合に起こると考える。

システムそのものの内部の中の Control Structure もあるが、人や組織の Control Structure も重要である。開発側と運用側で人や組織がどう指示を出しフィードバックデータを返して成り立っているかの Control Structure を明らかにして、指示を出す、あるいはフィードバックを返すループの中で、何か誤認識が生じると必要な Control Action ができなくなるという事故モデルを定義する。ループの中の要因で不具合が生じる可能性をCASTによって分析する。

(2)スペースシャトルチャレンジャー事故(1986年)

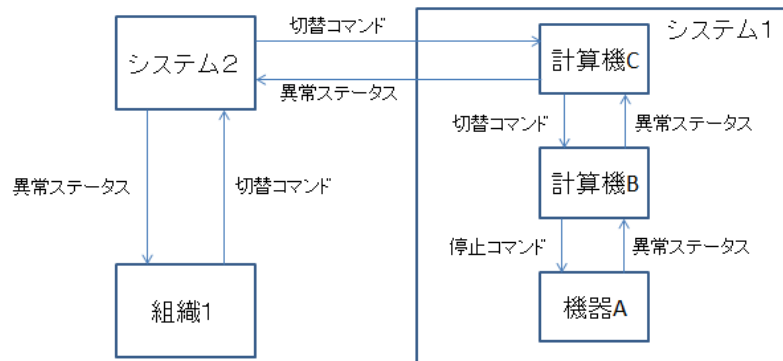
- ①従来手法の Chain of Events では、1. 気温低下 2. ロケットの Oリング弾性低下 3. ロケットの燃料漏れ 4. 爆発の事象のなかで、何が/誰が悪い？を分析する。
- ②STAMP では、安全制約をコントロールできていない状態を分析するものであり、事象の中に安全制約は何かあり、なぜ？どのように？コントロールできなかったのかを分析し、システム要因を分析する手法である。
- ③例えば、
 - ・Oリングの機能維持をなぜコントロールできなかったのか？Oリングを機能させるために、システムとして何かができる筈、何故怠ってしまったのかを分析する。
 - ・燃料漏れの防止をコントロールする術をなぜ実装していなかったのかを分析する。
 - ・技術者と管理者の意思疎通がなぜコントロールできなかったのかを分析する。そもそも意思疎通できる経路があったのか？

(3)実施ステップ

- Step 1: 不具合に至るシナリオを時系列(event chain)で分析する。
- Step 2: 不具合事象と発生を防ぐための安全制約(System Safety Constraint)を定義する。
- Step 3: 安全制約の実行に関わる Safety Control Structure を作成する。
- Step 4: 末端の制御対象である Physical system level で不具合要因を分析する。
- Step 5: 制御を実行する Controller level で不具合要因を分析する。
- Step 6: 不具合要因を除去するための提言をする。

3.2 適用例

宇宙機に関する3つのシステム/組織(システム1、システム2、組織1)の間で発生した不具合事例



Step.1 不具合シナリオの分析

システム1の機器 A の異常に対して、システム1内で対処できず、物理的に離れた組織1で対処せざるを得ない事象が発生した。

Step.2 不具合事象と安全制約の定義

不具合事象: システム1内の機器異常にシステム1自ら対処できない

安全制約: システム1内の機器異常にシステム1が自動で対処すること

Step.3 安全制約を実現するコントロールストラクチャ

切り替えコマンドと異常ステータスのやりとりがあり、システムの安全を守る仕組みが定義されている。異常が発生するとステータスとして上げられて何か対処が行われる構造である。(上図参照)

Step.4 不具合要因の分析

各機器や組織が持つ安全上の責任、不適切な指示、プロセス/メンタルモデルの欠陥、背景情報について注目し、不具合要因を分析する。

コンポーネント		Safety Responsibilities	Inadequate Control Actions	Process or Mental Model Flaws	Context in which Decision Made
システム1	機器A	安全制約に対する各コンポーネントの役割	安全制約を破る不適切なコントロールアクション	何を思い込んだのか?	なぜ思い込んだのか? →STPAでは無い観点
	計算機B				
	計算機C				
システム2					
組織1			一つのInadequate Control Actionに対して、Process Model FlawとContextを分析する		

各コンポーネントの Process Model Flaw と Context を一覧表に整理することで、関連した要因を結びつけながら背後にある要因の分析を容易にすると考える。

【質疑応答】

Q1: プロセスシステムの設計段階の分析においては、STAMPとHAZOPは、ハザード分析で使われるキーワードの使い方が良く似ていると思うが、それらの違いがあれば説明して頂きたい。

A1: HAZOPには、ガイドワードが20個程ある。HAZOPは化学プラント等、ものの流れが少なくなった場合や逆流した場合といった事象を想定したガイドワードになっている。HAZOPは、ものを対象にしたガイドワードであるが、STPAは、ものではなくデータといった情報、制御のための情報に特化したガイドワードになっている。もの特有のガイドワードは削ぎ落とされ、制御指示が不適切とはどんなことか絞られたガイドワードになっている。

Q2: 分析には、どのくらいのマンアワーを掛けているのか？例えば、開発ソフトウェアのステップ数の何%程度を分析に掛けたのか？または開発の何%の費用になったか？

A2: ものに依るが、資料「STAMP/STPAの概要」の中に記載したStep. 1の表を例にすると、Control Action 3つで、 $3 \times 4 = 12$ 個の表ができるが、これなら1~2時間でできる。数を多くし手が込めるとControl Action 毎に表ができて、100行にあつという間になる。1行1行分析を進める中で、詳細に繰り返し戻りながら進めなければならないので、100行となると1ヶ月、2ヶ月掛かる。客先に詰めて週に1回、5時間掛けて何とか形になっていく。扱うControl Actionの数に比例して行う規模が変わるが、Control Actionが3ケタになると数か月掛かる。%で言うのは開発費用が異なるので難しい。

Q3: 「宇宙機におけるSTAMP/STPAの事例」に、このとりのシステムのControl Structureの例を紹介しているが、ラフな印象を受けたがその理解でよいか？

A3: この程度では何も分析できそうに思えないが、この程度でもControl Actionはたくさんあり、このレベルで表を作るのは結構大変である。実際にはもっと細かく行いたいのが、全体を追うのがどんどん難しくなる。まずは、宇宙飛行士がHTVにこのコマンドを出すというくらいのレベルで終わらせて、コマンドを受け取ったHTVの中の処理のように細かいレベルのものは、次のレベルで進める方がいい。

Q4: 情報系のシステムをイメージすると、基板同士や基板の上のコントローラ対コントローラぐらいをイメージしてしまうが、それはtoo muchであるか？

A4: はい、いきなりそれをやろうとすると、細かくなり過ぎてうまくいかない。

Q5: もちろんトップ側から分析をするが、そこまで細かく行うのはおかしくないか？

A5: 行うこと自体は何ら問題ないと思う。順番を追ってトップダウンでいかないと良い結果が出せない。

Q6: 宇宙の場合であれば、適用する範囲あるいは対象は、ありとあらゆるシナリオを想定すると思われるが、シナリオを想定するバウンダリ、ここまで考えればいいという基準や目安があれば教えて欲しい。

また、分析して出されたハザードを排除するにあたり、全て排除しなければならないのか、スルーして良いのか、このハザードは残してもよいという基準や目安があれば教えて欲しい。

ここでは分析手法の話なので筋違いかも知れないが、実際に不適合分析を行う上で、そういった考え方があれば教えて欲しい。

A6:分析をする際にシステムのどの範囲まで含めるべきか、非常に重要なことである。CASTの資料にある Leveson 教授の本の Control Structure の例ですが、システムの内部の閉じた Control Structure を書いても良いし、システムの外部にあるマネージメント、その組織まで含めた Control Structure を含めても良い。ハザードを制御するのは、どのレベルの Control Action が想定されるのか、分析者の分析するチームの中でどの程度の階層まで Control Action が実行されているかを把握する必要があると考える。あるハザードを制御するのにシステムの中の閉じた Control Action だけでなく、それを操作する人の Control Action や、それを監督する役所の Control Action を考える必要があると判断された際は、そこも含めて分析されても良いと思う。ハザード制御のための Control Action がどのレベルまで、自分達のなかで把握できているかで分析の範囲が分ってくると考える。

Q7:資料に書いてある安全制約のところ、「コンポーネントの振る舞いに関わる物理的、人、又は社会に関わる制約」についての質問です。今月スエーデンに行った際に、スリーマイルアイランド事故の後に相互作用ということで始めたMTO(Man Tecnorogy Oganization)という取組があると聞きました。IAEAでもMTOに相当するITO(Indivisual Tecnorogy Oganization)がある。これは安全文化で出てくる非常に抽象的な話だと思っていたら、MTOの組織委員は20名の専門家(例えば心理学者、社会学者、構造科学者、物理科学者、運転科学者、技術の科学者等)を集めて、RCA、リスク管理、変更管理等の評価や、技術評価を行っているという非常に実態のある話だったが、方法論までは分らなかった。今日の話を知ると、ある一定の専門家が集まって、STAMP、CASTといった分析を行うという意味では、取り組み方としては、規模に応じてそういった総合的な専門家が集まって分析することかと思ったが如何ですか？

A7:STAMPは、あまり馴染みのない解析手法と思われませんが、とりあえず、我々がやっているやり方について説明します。まずSTAMPの専門家がいて、システムの専門家がいます。STAMPの専門家がシステムの専門家にインタビューして分析を行い、ハザード発生要因やハザード制御が決まります。それを今度はMTOの様な審査員が、テーブルをコの字型にし、真ん中に議長が座って安全審査を開きます。このハザードに対してこのハザード要因がこれだけ識別され、それぞれのハザード要因毎にハザードレポートを作成し、全てのハザード要因に対してこのようにリスクを最小化するという設計内容のプレゼンテーションが行われます。そして、MTOに類した組織全員の総意の基、議長がこれはOK、これは駄目といった判断を下し、全てがOKになったら、打上にGOが出るといった安全審査を行う。

Q8:化学プラントではガイドワードを使う。安全制御システムの事故モデルはたくさんあり、原子力プラントではダイナミックだがスタティックに分析できる。1行でもバグがあったら制御機能は失われてしまうこともあるから、最後の1行までブレイクダウンしないと要するに押え込めないということか？

A8:押え込むべきシナリオまで出せば、成功だと思う。ソフトウェアがどこでバグるか分からないので、バグらない様に開発をきっちりやりましょうというのが従来のやり方です。ハザード原因があって、それが発生しないようにするには、ソフトウェアにこんなことがあったらこうするということをハザードレポートに書きます。そして、こういうことが起ったらこうするというケースのテストを行った結果を検証結果としてハザードレポートに書きます。検証結果まで全て作成され、この

ハザード原因が最小化されたことで議長がOKを出せる根拠資料になる。こうなったらこうするから安全だというシナリオがなくて、どこでバグが出るか分からないので一生懸命作りただけでは判定ができないので、各論に行けない。各論にいけないので各論に行くためのシナリオを書きます。

Q9: 要はバグを完全に潰せないなら、クリティカルなところはかなりのレベルで押え込んでいくからトータルのリスクは低い筈だという考え方でよいか？

A9: 宇宙ステーションでは、ハザード原因が300~400あり、それぞれについてハザード制御する方法が3つずつ程あり、合計1000ぐらいになる。これが1冊のハザードレポートに中に入っている。その検証結果が全部OKであれば打上にGOが出る。その1000の中で純粋にソフトウェアは最近のシステムでは半分ぐらいである。500~1000ぐらいのレベルで押えればソフトウェアとしては網羅性があるとする。1000のソフトウェアの機能のコンビネーション、クリティカルな機能まで絞り込めれば、ソフトウェアは安全であるといえるとする。



第43回講演会会場の様子

Ⅲ. 平成27年度定例研究会・各グループ活動報告

1. 第1グループ活動計画(奥平光城リーダー)

(1)研究テーマ

品質システムの研究「原子力 QMS に対する ISO9001 改訂の影響評価」

(2)研究の内容

1) ISO9001:2015 に対する評価

ISO9001:2015 から導入されたリスクに基づく品質マネジメントシステムに関して、原子力業界におけるあるべき姿を中心に議論した。リスクの定義によっては、マネジメントシステムの影響範囲は、従来の品質の枠組を超え、会社の経営そのものにもなるが、一方、品証部門が実行力のある運用ができるか等の課題もある。JEAC4111 への反映すべき点等は、来年度も引き続き検討する。

2) QMS 枠組みマトリクスの継続審議

昨年度から検討を開始した規制局、事業者、製造者の立場を考慮した QMS 枠組みマトリクスに対して、リスクの視点から検討を深めた。規制局、事業者、製造者が一体となった、いわゆる大きな QMS の運用には、それぞれの役割でのリーダーシップと円滑なコミュニケーションが重要であるとの見解に至った。

3) レジリエンスエンジニアリングの研究

東北大学名誉教授北村氏の講演を通じ、レジリエンスエンジニアリングは、実際の被害とそれがなされなかった場合に想定される被害との差分(被害を防いだ部分・成功)に目を向けること、しなやかな強さを求めすぎると一方に生じる脆弱さ(バランスが重要)に着目すべき点があること、等の気づきを得た。

2. 第2グループ活動計画(氏田博士リーダー)

(1)研究テーマ

エラーマネジメントに関する調査研究

(2)研究の内容

1)東京電力福島第一原子力発電所事故の論点整理と提言

H26年度活動報告に引き続き、「安全を達成するために必要な個人及び組織の在り方」を、以下の調査及び意見交換を通して検討した。

①「ヒューマンファクターの観点からの福島第一事故の調査報告(HMS部会)」

②福島第一原子力発電所事故をふまえた組織レジリエンスの向上

③安全思想の再構築

深層防護(DID)と確率的安全評価(PRA)の関係を整理し、リスクマネジメントの観点から、リスクベネフィット解析の重要性を指摘した。

2)レジリエンスエンジニアリングの適用

①Resilience Analysis Grid(RAG)のシート見直しと組織への適用性の調査・検討を実施した。

②良好事例分析手法の確立と調査・検討

良好事例分析として、統一的な教訓シートに基づき、良好事例(3事例)と過去に分析した組織事故分析から教訓の抽出方法について検討した。

編集後記

昨今、不正経理問題、データ偽装/改ざん問題等で複数の名立たる企業が、信頼を失墜し、その存続をも危ぶまれる事態となっている。顧客重視、社会貢献をミッションとすべきである企業が、自組織内の目標を達成するためのみに注力し、経営判断を誤り、招いた結果である。

昨年、品質マネジメントシステム-要求事項(ISO9001)2015年版が発行された。新たな要求事項として「リーダーシップ」、「リスクへの取り組み」などが追加され、ISO9001 認証資格を持つ各企業は、移行期間中の現在、2015年版要求を満足すべく、自組織の品質マネジメントシステム(QMS)を見直し中である。

認証資格更新を目的にQMSを見直すのではなく、「リーダーシップ」や「リスク管理」に対し、経営トップ、上層部、各階層のリーダーが、自らの活動基盤の改善を真摯かつ愚直に取り組む企業こそが、顧客重視、社会貢献を軸とした持続的成功を図っていけるのではないだろうか。

(MT)

以上