

Safety Service Engineering(SSE)の提案

～機械類の安全技術とシステム及びサービス思考

加部 隆史 (NPO 安全工学研究所)

1. 安全と SSE の必要性

20 世紀は科学技術の進歩を妄信し、社会福祉の増大を求めた反面、不可逆性を伴う危険及びリスクがその副産物として産出され、多くの危害がもたらされてきた。とりわけ情報通信技術の急速な発展により、世界はボーダーレス化しており、地球規模でのリスク管理が多くの場合不可欠となってきた。かような状況下で、安全・安心社会に役立つ新たな工学とは何かが問われてくる。

ひとつの潮流として、機械類をシステム思考で捉える考え方と、その全ライフサイクルを視野に入れた概念設計段階での最適化があげられる。

第三次産業としてのサービス分野は、日本を含む工業先進国の多くが対 GDP 比の雇用ベースで全体の凡そ 7 割を占める程に成長している。社会的背景としては、企業での少量多品種生産やアウトソーシングの拡大、少子高齢化に応じた新たなサービス提供、顧客重視の拡大等がある。因みに日本の場合、第二次産業の製造業での割合は凡そ 2 割となっている。サービス分野ではこれまで主として経験と勘に頼っていたが、そこに科学的・工学的手法を導入する事はこの産業分野の重要度から意味がある。

サービスとはそもそも顧客満足を得る事前前提としている。品質管理に関する ISO9000 が 1987 年に導入され、当初は生産者が者を作り市場に提供し、その際品質管理 (QC) をしていればよかったが、次の段階で品質を保証 (QA) するようになり、更に顧客満足を高める為に全体の管理 (QM) を経営者のトップダウンにより実践すると言うように変遷してきている。又、後述するアメリカの System Safety では、適切な顧客ニーズの把握並びにそれに応じたアウトカムを管理する事が以前から強調されている。これらは同時に、大量消費・大量廃棄の供給者論理から使用者や消費者の権利を重視した受給者論理への転換とも言える。

2. 安全・安心の為のサービス概念

2.1 Safety Service Engineering(SSE)とは？

SSE は何かを論じる前に、類似関連用語の整理が

必要となる。まず safety、そして system 及び engineering 並びにその複合語の定義が必要となる。

Safety については、安全と言う用語を規格に適用する際の ISO/IEC Guide51 に拠ると、安全(safety)とは、受入れられないリスクからの開放を意味し、リスクはゼロにならない為に残留リスクを認める。その状態は危険源が事前に処理される行為が含まれる。危険源を基にしたリスクが処理されて初めて機械類は安全となり、それを使用する社会に安心が提供される事になる。その処理は勿論技術屋及び工学の役割である。

危害は、危険源と人の組合せにより発生するが、危険源を適切に処理せずに、いきなりリスク論で安全を確保しようとする事は、本来妥当ではない。

Hazard(危険源)を関連法及び規格・基準等の科学及び技術の水準(state of the art)並びにエンジニアリング・プラクティス(well tried good engineering practise)に基づき処理されたかがリスクベースド・アプローチでは問われる。

機械設備類の安全の対象は広義であるが、本論においては図 1 のとりわけ機械類の安全を対象とする。

機械類の安全(safety of machinery)を実践するにしても、本来サービス観点から顧客満足の受給者論理から出発し、機械設計者が何をすべきかを機械の全ライフサイクル並びにシステムズ・エンジニアリングの観点から全ステークホルダを対象として考慮す

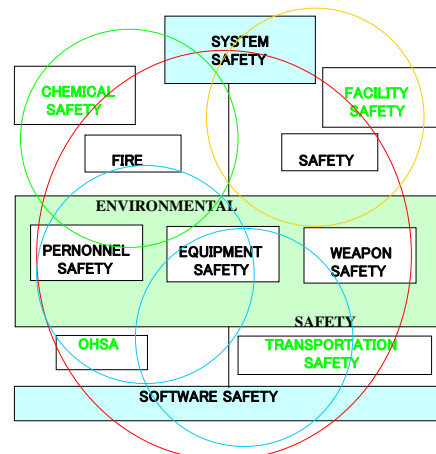


Fig.1.2 of Stem Safety: A Science and Technology Primer by The New England Chapter of the System Safety Society

図 1.安全の範囲

ると、社会に新たな価値を提供する安全設計の姿が見えてくると思われる。

システムズ・エンジニアリングは機械設備の基本設計・詳細設計・機器の調達・設置・保全・廃棄に至る全ライフサイクルのプロセスでのエンジニアリング及びリスクマネジメントの観点からの最適化を意味する。

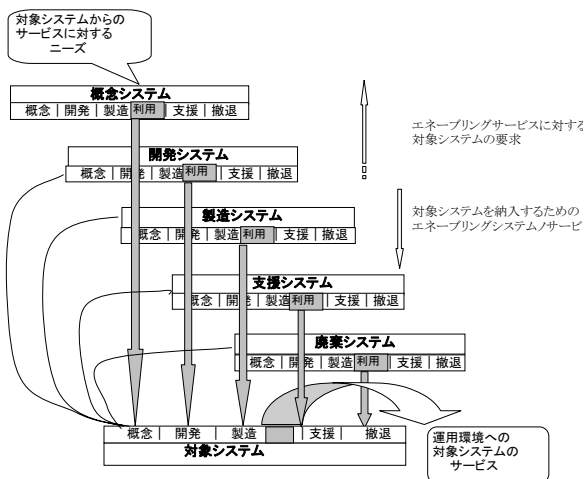
Safety Engineering: 安全工学

安全に係わる工学の総称で、例えば図1に示す範囲を意味する。分野により、そのプロセス及び発生する危害の程度に相違があり、リスク低減の方法論も様々である。

Systems Engineering: システムズ・エンジニアリング

アメリカの国防省(DoD)の軍用規格 MIL-STD 499:1969 に端を発するもので、ISO15288:2000 及び ISO/IEC12207:1995 に概念が纏められている。

ここでは、最初の概念設計段階で要求仕様分析が定められ、顧客満足を前提としたサービス提供のインプットとアウトカムが目標とされている(図2参照)。



ISO15288/JISX0170システムライフサイクルプロセス 図D.6一般的なエネーブリングシステムとのシステム相互関係
図2. Systems Engineering の設計手順とサービス

学会として International Society for Systems Science (<http://iss.org/world/about-the-iss>) が 1955 年にアメリカで設立されている。ここでは、合理的な分析主義・要素還元主義を批判する意味でのホーリスティックな Systems Engineering¹⁾や Systems Thinking 等が出発点となっている。

Systems Engineering の特徴は、技術以外に経済的視点を踏まえたシステム全体の Risk

Management(リスク・マネジメント)及びライフサイクルの概念(図3参照)が柱となっていると言える。

注：ここで Systems は複数である。

System Safety²⁾: システム・セーフティ(アメリカ)

アメリカの国防省による軍事規格として 1969 年

に策定された MIL-STD 882 を出発点として、MIL-STD882D:2000 に纏められたシステム・セーフティで、Systems Engineering 及び safety の概念を含むリスクマネジメントシステム³⁾。これは航空宇宙産業を出発点として、プロセスプラント、原子力、鉄道分野等で幅広く実践されてきている。

System Engineering: システム工学(日本：未定義)

日本で多用される単数の system に engineering を結合した言葉だが、”systems engineering”の概念とマネジメント体系を必ずしも示すものではなく、定義された用語ではない。上記の関連定義を踏まえて、勝手にシステムをいう言葉の使用は、工学上本来好ましいものではない。

Service Engineering: サービス工学 (第 2.2 項参照)

Safety Service Engineering(SSE):

SSE は、以上述の全ての概念を含むもので、その概念整理とそれによるイノベーションの実践への適用に向けて、2.4 に述べる研究会を発足した。

2.2 サービスとは?

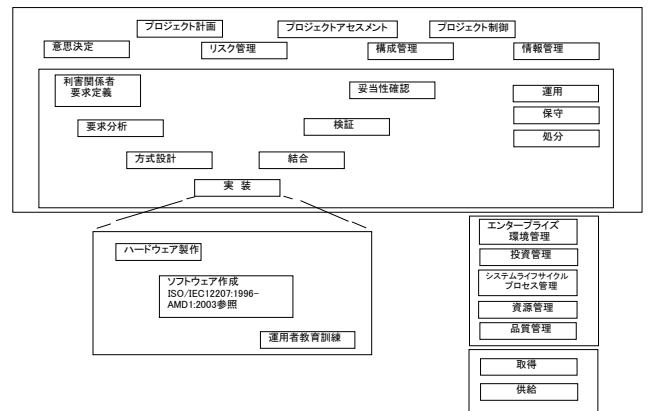
サービスサイエンス或いはサービス工学という新しい概念が近年導入されているが、未だ確定的でないという前提で、その意味を以下に概説する。

Service Science⁴⁾: サービスサイエンス

2002 年に IBM 研究所とカリフォルニア大学の取り組みで Service Science という概念が新たに発表された。そして 2004 年米国競争力評議会の報告書 Innovate America でサービスイノベーションが強調される。

Service Engineering^{5),6)}: サービス工学

2002 年東京大学人工物工学研究センターにサービス工学研究会が発足し、現在は首都大学が継承している。2006 年経済産業省産業構造審議会にサービス政策部会を設置。NEDO の技術戦略マップ 2008 にサービス工学分野に関する技術ロードマップが掲載された。



ISO15288/JISX0170システムライフサイクルプロセス 付属書C図C.1 JISX0170とJISX0160:1996及び補足1:2003との関係

図3. Systems Engineering のライフサイクルマネジメント

これらは日本学術会議の俯瞰型研究の継承を基に提案された第 18 期報告書「新しい学術の体系-社会の為の学術と文理の融合」⁷⁾のなかの設計科学の考えを踏まえたものとも言える。

Service Innovation: サービスイノベーション

経済産業省は、2006 年に産業構造審議会にサービス政策部会を設置し、サービス産業の育成を推進しており、それに伴いサービスイノベーションという用語が使用されてきた。

Product Service System: プロダクトサービスシステム

製品とサービスを一体化して提供する仕組みで、欧州中心に研究が行われ、例えばドイツ電気工業会 ZVEI は、Services in Automation⁸⁾という概念を提唱し、製品のサービスクラスを 7 通りに分類している。又、第三者機関等もサービスの質と度合いに応じサービスのクラス分けを実施している⁹⁾。

ドイツの損害保険会社で第三者認証機関である BG は、2006 年に専門家による 2 年間の研究成果として、機械の安全装置の無効化報告書¹⁰⁾を発表した。これによると、機械の 3 割以上が定常的に無効化され、往々にして管理責任者がそれを黙認していると言う事実が明らかになった。主原因として、生産性の維持が挙げられ、対応策として無効化しにくい要素技術の開発或いは、機械運転者を機械調達時に参画させる等が提案された。後者は、機械供給者の観点のみならず、使用者側からのサービスの要求となる。日本は未だ機械安全概念の導入段階にあるが、それを達成してもこの安全装置の無効化問題が同様に発生する事は明らかであり、本来この視点を踏まえたアプローチが必要とされる。

すなわち、サービス科学或いは工学の概念が 21 世紀に入り急速に普及し始めてきたという事で、日本もこの黎明期に世界に先駆けて研究を開始している。

又設計分野では、**図 4** が示す人間中心設計

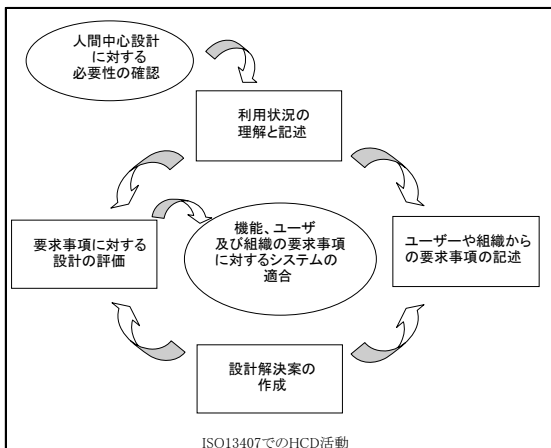


図 4. 人間中心設計 HCD 活動

HCD(Human Centered Design, ISO13407:1999)が近年提唱されている。

20 世紀の合理主義一辺倒の科学技術は、その要素還元主義により科学として証明出来無いものは除去されてきたが、サービスの場合人がその担い手となり、不確実性・複雑性を如何に科学や工学にするかが問われてくる。それ故新たなサービス工学にニューサイエンス¹¹⁾或いは設計科学という概念の配慮は有効と思われる。

2.3 SSE の概念と方法論

かような状況下で、SSE の基本概念を以下の通り認識並びに整理をしたい；

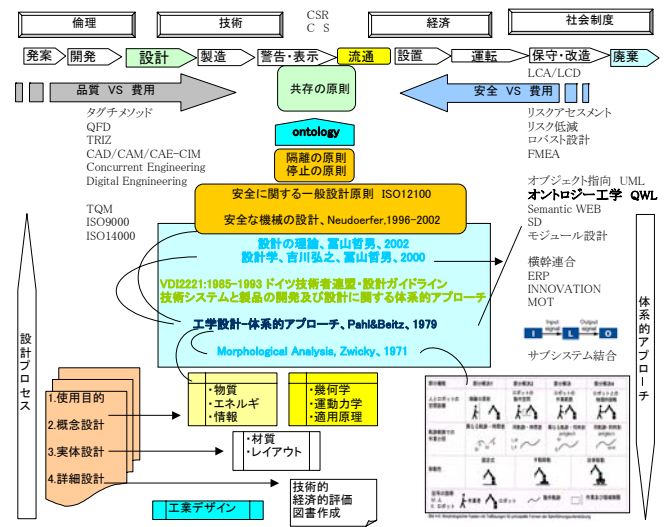


図 5.体系的設計論

- これから人工物を提供する際、持続可能な社会で福祉をもたらし、危害の要因となる危険源は主として設計段階で除去されるべきものである。
- 危険源の処理をするのは技術者である。
- 持続可能な社会では Systems Engineering やニューサイエンスに基づく科学技術と地球及び生物の共生が問われてくる。
- 安全・安心社会とは、科学技術がもたらす危害を事前の予防原則により除去し、残留リスクが適切に管理される事により安全が達成され、それにより社会に安心をもたらすものである。
- 安全な機械の設計は、それ自体単独で主語となるものではなく、それ以前に培われた設計工学の体系的アプローチ等を基盤としている(図 5 参照)。
- 体系的設計論は、例えば VDI2221:1993 に纏められている。
- 機械システムにおいては機械類の全ライフサイクルを視野に入れ、製品の市場投入後の問題を事前に設計段階で配慮する事が望まれる。

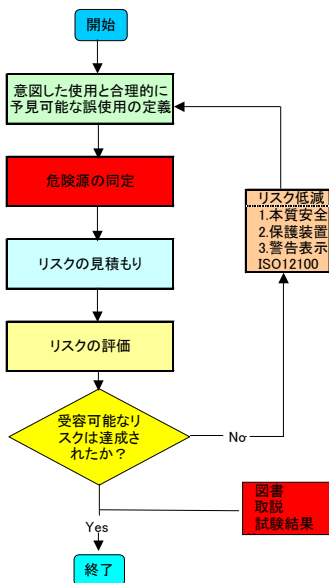


図 6.機械のリスクアセスメント

- 機械類の安全を達成するには、予防に基づくリスクベースド・アプローチの概念が存在し、方法論は既にリスクアセスメント(ISO14121)とリスク低減(ISO12100)により国際規格で A-B-C の階層構造で定められている(図 6 及び図 7 参照)。

- ソフトウェアの安全性に関しては、機能安全規格 IEC61508 関連でその包括的なリスクマネジメント(Risk Management)を含んだ取組みが提供されている。

- 設計段階で事前に問題を取組む事は、製品の市場投入後の問題に伴う労力(時間と費用)を大幅に削減するという経済的効果を伴う(図 8 参照)。

- 機械やシステムの導入後の設計への変更管理は、往々にして事故予要因となる為、適切な変更管理(configuration management)¹²⁾が必要となる。

- 20 世紀のものづくりのは、大量生産・大量廃棄であったが、これからは顧客満足を視野に入れ事前に設計段階にそれを組込む事が求められている。

- サービスへのニーズとアウトカムを、時代の要求に即して System Engineering 及びサービス工学の視点から新たに構築する必要がある。

これらの認識と概念を基にして、あらゆる人工物の利用者に、グローバルの観点から、時代に即した人工物を提供し顧客満足を設計段階で安全を配慮の上達成するという一連のプロセス及びそれに伴うイノベーション¹³⁾の仕組みについて(Safety Service Engineering: SSE)という概念として提案したい。

アメリカでは予防保全の概念として、1960 年代に RCM(Reliability Centered Maintenance:信頼性中心保全)、1980 年代には RBI(Risk Based Inspection)或いは RBM(Risk Based Maintenance)の概念が普及したが、

日本の場合、未だ事後保全の考えが強い。

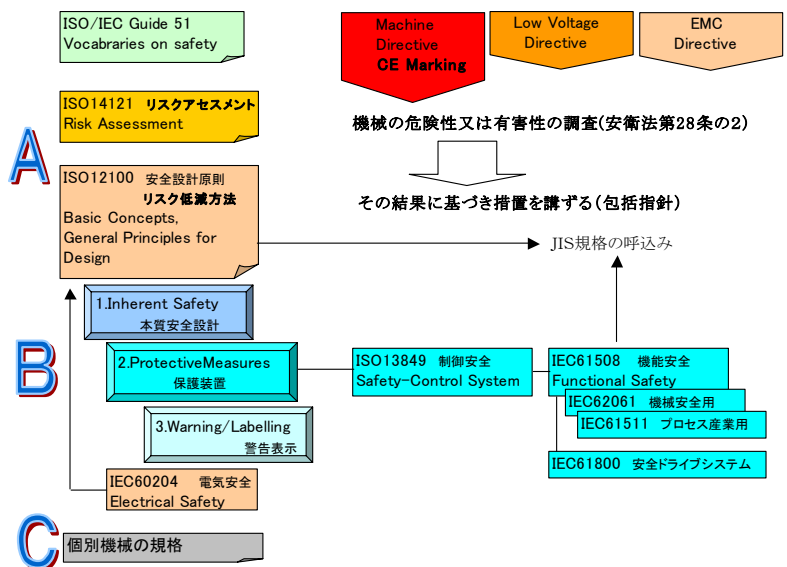


図 7.機械のリスクアセスメントと関連規格体系

日本では、社会全体にリスクベースの考えが十分に定着していない。その為労働災害数はとりわけ欧州先進工業国と比較し依然として多い事と、産業界では機械安全は追加費用がかかるとの事から、機械安全概念の定着が遅れている事等の現状がある。その為に SSE はそれから脱却し、その利点をシステム思考により明確にし、産業界がそれにより動機付けられ MOT(Management of Technology)のひとつの模範として産業競争力の源泉となるイノベーションを興す事につながる事を目指す。

2.4 SSE の目標と手順

SSE 概念を構築する為には、前述の認識及び基本概念整理の他に、その概念の有効性を示す事により、その納得性が出て来る。

欧州においては機械安全に係わる予防概念の有効性につきいくつもの報告書が纏められており、予防概念の有効性と経済的利点がある中に織り込まれている。いくつかの報告書を参考文献として掲載する^{6,14)}。

日本の場合、欧州では 20 年程前に終了した機械安全の概念普及活動からいまだ脱する状況ではない為、新たな SSE の概念構築に伴い、その有効性にかかわる事例研究とその成果の公表が必要と思われる。

日本機械学会設計工学・システム部門の設計研究会では、これまでプロセス分野、FA 分野、家電分野を含み、設計によるイノベーションに係わる研究を続けている。これまでの本研究会の成果も配慮の対象

となる。

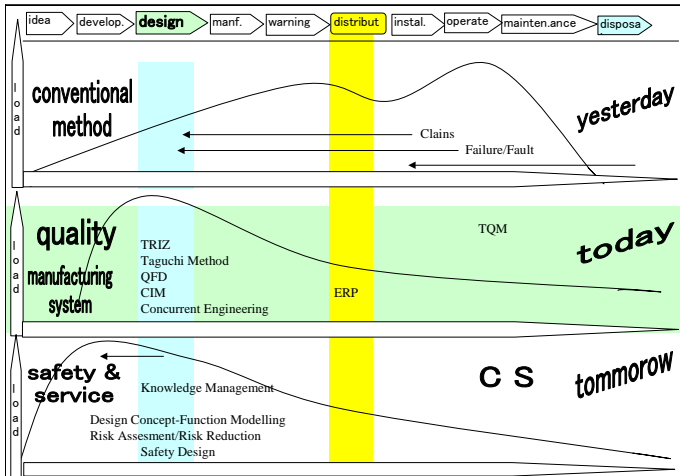


図 8. ライフサイクルにおける設計プロセスとその位置づけ

とりわけ、図 8 の上部にある通り、通常設計段階での諸条件の配慮が市場の要求に追いついていない際には、製品の市場投入後に様々な問題が発生し、設計段階へ後戻りして手直しが必要となり、それには多大な労力が必要となる。

図 3 の下部では、顧客満足を前提としたサービス工学・ユーザ工学の観点から、事前に市場の要求事項を設計段階で処理する事を徹底する事により、市場投入後の問題を先取りできる。

上流部の設計における有効な方法論として、日本から世界へ発信された例として、**タグチメソッド**及び**品質機能展開(QFD:JIS Q 9025:2003)**等があり、基本的には問題を製品の市場流通後ではなく、事前に設計の上流段階で処理するという考えは共通しており、その事前処理が経済効果を伴う事は既知の事実である。

2009 年にアメリカで発生したトヨタ自動車のリコール問題は、設計者としての自動車会社の安全確保と、残留リスクの使用者側による処理につき、双方の関係者の利害に相違があった為に発生したもので、決着はともかく、問題が発生した際の説明責任をどうするかと言う消費者期待基準並びにリスクコミュニケーションの観点から、情報提供やサービスのあり方につき、大いに考えさせられる事例である。

2.5 SSE 概念の発信へ向けての研究会発足

機械類の安全に関しては、従来の日本の歴史が示すように、欧米先進国からの概念と方法論の導入とその展開という状況にある。この分野で日本発の国際論文は数えるほどしか無い。新分野のサービスロボットという人との共存を前提としているが故に安全が前提条件となる分野につき、欧州で数多く存在する論文の中で、日本の論文の引用は無きに等しい。

自称ロボット大国のこの分野における研究が注視されずに、欧州では独自開発を進めているという事は、日本がこの分野で今後主導権を握れるかは大きな疑問として残ってくる。

社団法人日本機械学会産業・化学機械と安全部門で 2010 年 4 月に **SSE 研究会**が発足し、初年度は① SSE の概念整理と共に②事例研究を中心として活動を開始した。当初の会員は、SSE 概念の必要に共感し、今後日本発のサービスイノベーションを世界へ発信したいと願う推薦会員である。

①概念整理は、**Safety-Service-Engineering** 及びそこに **Systems Engineering** の概念を含め、SSE のあるべき姿に向けた概念整理を行う。

時代の流れから、人間中心設計(HCD)の重要性が高まってきている。これらの事から、SSE の学際的な対象は、横断的な安全工学以外に、機械工学、電気工学、制御工学、情報工学、設計工学、人間工学、法工学、法と経済学、認知工学、生物学、哲学、心理学、経営学、環境学、ロボット工学、オントロジー工学、更には新たなサービス工学やユーザ工学等幅広い分野が関連してくる為、研究会ではその枠組みと概念設定が必要となってくる。

その際、日本学術会議の設計科学⁷⁾で提唱されている分析に対してのシンセシス、帰納・演繹とは別のアブダクション等の考え方も配慮する事が望ましい。同様に、次世代のセマンティック・ウェブの方向性も配慮することが求められる。

②事例研究は、先ず日本を代表するグローバル企業が、機械類の安全の概念を適用してどのような効果を挙げたかを検証し、安全は負担が大きいから敬遠すると言う一般風潮を払拭する事を当初の目標としている。その際に、企業としてのリスクマネジメントの一環としての安全並びに、各種方法論の適用、具体的な生産技術面における **Service Engineering** の実践、そしてそれに伴う安全専門家の育成等を含み検討対象とする。

ものづくりをした後の妥当性検証は、重要事項であり、日本の場合歴史的に第三者認証機関が欧米と比較し、とりわけ機械安全分野については未発達の為、その意義と必要性を再認識する事が求められる。

リスク低減方策についても、単に安全装置を装着し、安全を実施したと言う短絡的な考えではなく、それを最適化するために、実ラインにおいてリスクアセスメントの結果に基づき、どのようなリスク低減手法が最適かを考慮し、各ラインにおける安全関連信号の集計の仕方、そしてその結果に基づきどのような要素技術を適用する事が望ましいか等も実例をもって示してゆく。

同様に、グローバルな観点から常識となっている事を、事前の設計段階で実施しなかった為の、技術の手直しによる無駄の発生事例と損害等についても具体例を検証してゆく。

プロセス安全分野は、元々Systems Engineering の概念に基づき、グローバルなエンジニアリング会社は、基本設計・詳細設計・調達方法等につき、要求仕様書を作成し、全ライフサイクルのリスク・マネジメントを実施しているが、自動化技術のFA分野においては、どちらかというと実体設計中心の例が多い。ここへ要求分析の手法を導入し、設備の仕様書を事前に策定し、それを実践する事により、最適化が実現される可能性が存在する。この二つの分野の共通点と相違点も事例研究の対象とされてくる。

それ故、事例研究の中で、国際競争力がある国内企業で実践された予防概念の有効性に関する調査を実施すると共に、これら企業に存在する数多くの暗黙知を形式知化¹⁵⁾する事により、日本のものづくり力が機械安全の体系化された方法論の既存枠を広げ、そこにSSE概念を導入する事により、国際的に発信する題材が数多く存在すると思われる。例えば、その中では当初のキャン・システム、タグチメソッド或いは品質機能展開(QFD)等は日本発で国際的に認知済みである。

SSE研究会の成果をどの方法論を用いて分析するかは現時点では未定であるが、今後国内及び国外での学会発表に積極的に参画していく予定である。

3. おわりに

因みに機械安全の概念を適用すると重大な労働災害死亡事故の8割異常は、予見可能であり結果回避可能であると言う報告がある¹⁶⁾。

そして、この機械安全の予防概念を適用する事により、グローバルな観点から、事故の際の説明責任を合理的な代替設計が無いという証明が出来る事から、十分に果たす事も可能である¹⁷⁾。

更には、リスクアセスメントとリスク低減をサービスロボットの様な新技術につきどう、何処まで実施するかも、機械安全の基本概念を踏まえて深める必要がある¹⁸⁾。

但し日本の場合、労働安全衛生規則で定める予防概念が必ずしも遵守されているとは言いきれない事例が多々存在する為、安全に対する社会的合意の考え方が、欧米のリスクベース社会とは異なる場合がある事も踏まえる必要がある¹⁸⁾。

これらの概念と方法論を踏まえて、SSEは、従来の供給者論理から受給者論理への転換に伴い、サービス工学の概念を配慮し、System Engineering 及び

System Safety の概念に基づき、リスクベースド・アプローチにより、機械の全ライフサイクルにおける最適化を設計段階、とりわけ上流の概念設計にあると仮定し、そこでの最適化が人工物の品質・環境・安全確保に貢献し、結果として適切なサービスが使用者に提供される事によりグローバルに通用する安心社会に寄与するエンジニアリングプロセスの提案、並びにそれによるイノベーションの喚起を目標としている。

参考文献：

- 1)V.ベルタランフィ,一般システム理論,長野敬他訳,みすず書房, 1973
- 2)System Safety Handbook, Federal Aviation Administration, US Department of Transportation, 2000
- 3)松本俊次,プロセス安全,日本プラントメンテナンス協会, 2004
- 4)亀岡秋男,サービスサイエンス,株式会社NT S,2007
- 5)内藤耕(編),サービス工学入門,東京大学出版会,2009
- 6)(財)経済産業調査会,サービス産業におけるイノベーションと生産性向上について,2007
- 7)日本学術会議,新しい学術の体系,2003
- 8)ZVEI,Services in Automation,2004
- 9)BGAG, Final Report Quality in Prevention,2009
- 10)HVBG, Manipulation von Schutzeinrichtungen an Maschinen, ISBN:3-88383-698-2. 2006
- 11)F.カブラ,ターニング・ポイント,吉福伸逸他訳,工作舎,1984
- 12)松本俊次,リスクベースド・アプローチによる機械安全の現状と今後の課題、労働安全衛生研究 Vol.3, No.1,2010
- 13)J. シュムペーター,経済発展の理論,塩野谷裕一他訳,岩波文庫(上・下),1982
- 14) ISSA,Report of Colloquium of the ISSA International Section for Resear on Prevention-Research on the effectiveness of prevention measures at the workplace, October 2009
- 15)野中郁次郎他,知識創造企業,東洋経済新報社,1996
- 16)加部隆史, 田中紘一, 染谷美枝, 杉本旭, 予防策としての機械安全設計の有効性(事故データベースの解析), 日本機械学会論文集 73 巻 734 号C編, pp2796-2804, 2007
- 17)加部隆史, 平野晋, 田中紘一, 杉本旭, サービスロボットにおける安全設計の妥当性判断基準(クリティカル・ハザードと合理的な代替設計基準), 日本機械学会論文集 75 巻 75X 号C編, pp2837-2845, 2009
- 18)加部隆史, 木村哲也, 高森年, 杉本旭, サービスロボットの安全性(リスク低減に関する方法論の基礎的考察-ΔR), 日本機械学会論文集 75 巻 754 号C編, pp1812-1820, 2009
- 19) 加部隆史, 梅崎重夫, 杉本旭, 機械の確定的危険源に関する安全規制についての基礎的考察(労働安全衛生規則が定める危険源), 日本機械学会論文集 75 巻 755 号C編, pp1902-1910, 2009