

論文の内容の要旨

論文題目 Practical Framework for Chemical Risk Management
based on Process Design

(プロセス設計に基づく化学物質リスク管理のための実践的フレームワーク)

氏名 菊地 恵美

Chapter 1 緒言

持続可能な産業活動の実現を目指し、プロセスの設計段階において化学物質のヒト健康や環境に対するリスクを評価し適切に管理することが求められている。既存の研究において、化学物質の影響評価を行うためのモデルの開発[1,2]や評価手法の構築[3,4]が行われている。また、化学プロセスを対象とした環境配慮型プロセス設計のための意思決定フレームワークが提案されている[5,6]。一方、化学品を使用して製品加工・組立を行うサプライチェーンの川中産業に存在するプロセスを対象としたリスク管理手法の提案は十分に行われてこなかった。川中産業におけるリスク管理を支援するためには、プロセス設計における産業特有の問題構造を分析したうえで、リスク評価に必要な知識を体系化し、リスク管理における意思決定手順を構築する必要がある。

本研究は川中産業における製品製造を対象とした、プロセス設計に基づく化学物質リスク管理のための実践的フレームワークの構築を目的とする。図1に本論文の構成を示した。Chapter 2において実際のプロセスに対する問題分析を通して構築すべきフレームワークの概念設計を行う。Chapter 3においてリスク管理のためのプロセス評価に必要なメカニズムを、Chapter 4において評価結果に基づく技術的・経済的な制約を考慮した意思決定手順を、ケース

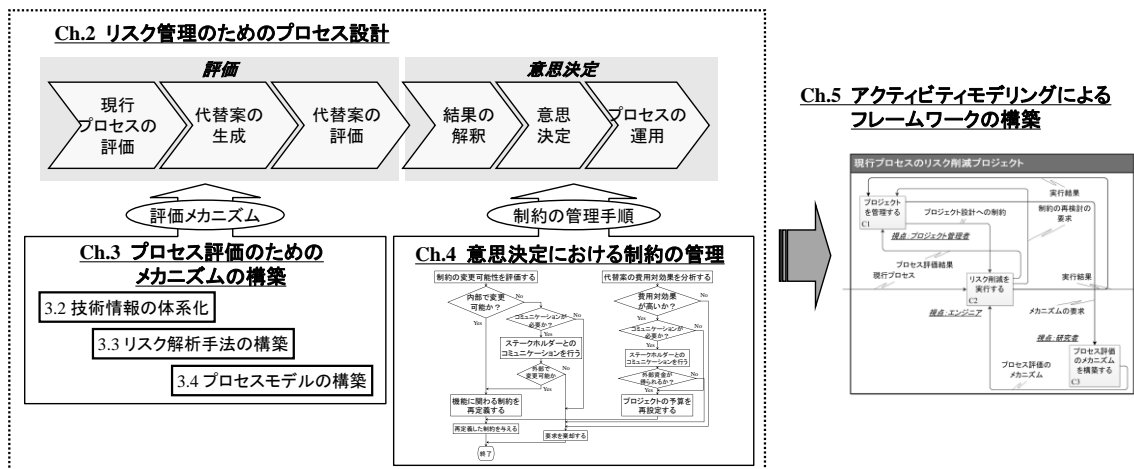


図1 論文の構成

スタディを通して構築する。さらに、Chapter 2-4 で得られた知見をもとに、Chapter 5 においてリスク管理に必要な作業と情報をアクティビティモデリング手法により記述し、化学物質リスクの管理フレームワークとして提案する。

Chapter 2 リスク管理のためのプロセス設計

Chapter 2では、実際のプロセスに対してリスク削減のためのプロセス設計における問題分析を行い、分析結果に基づきリスク管理フレームワークの要求仕様を定義した。2.1では、持続可能なプロセス設計における意思決定要素として、機能、コスト、リスクの3つを定義した。2.2では、3つの意思決定要素に関わるプロセス設計問題が存在する金属洗浄を対象として問題の代表事例の分析を行い、プロセス評価のためのメカニズムの不足と、意思決定における制約管理の不備が主要な要因であることを明らかにした。2.3では、問題分析結果をもとに、リスク管理フレームワークの要求仕様を図2のように定義し、各評価メカニズムの役割と意思決定における制約管理の役割を明らかにした。このフレームワークは、既存のプロセスのリスク削減を目的としたプロジェクトの手順を定義するものであり、プロジェクトの管理、プロセス設計と運用、及び、プロセス評価のためのメカニズム構築という3つのフェーズで構成されている。

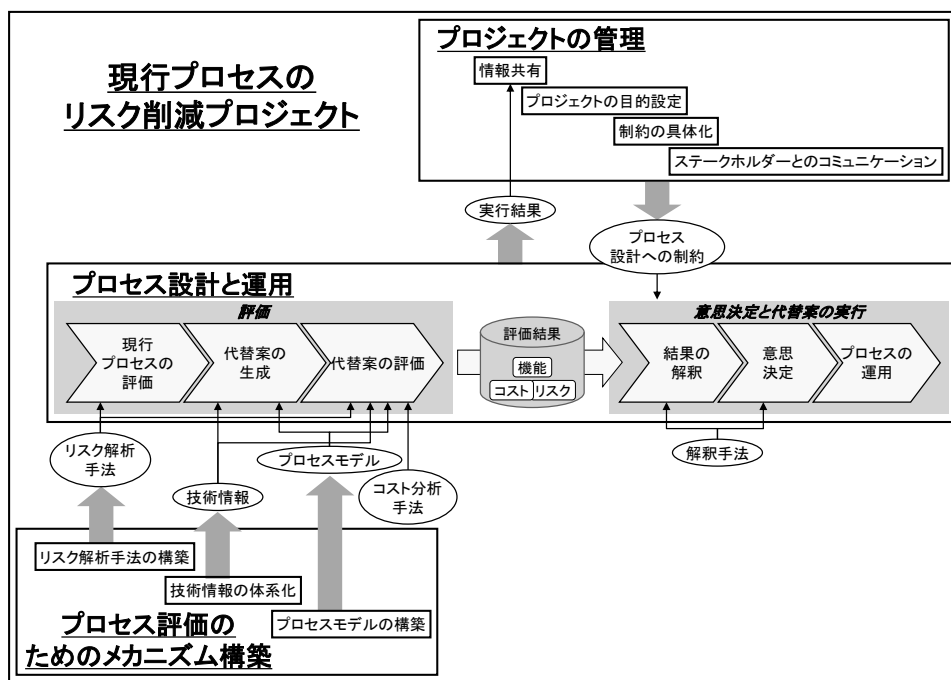


図2 プロセス設計に基づく化学物質リスク管理フレームワークの概念図

Chapter 3. Mechanism Development for Process Evaluation

Chapter 3では、プロセスの意思決定要素の評価に必要なメカニズムである技術情報とリスク解析手法、プロセスモデルの整備を、金属洗浄を対象としたケーススタディにおいて実行した。従来、洗浄プロセスでは現場で蓄積された経験的知識に基づき技術が選択されており、プロセス設計に必要な技術情報が体系的に整理されてこなかった。そこで、3.1に

において、経験的知識の根拠を工学的知見から理論的な解釈を行うことで、品質や処理量といった機能に関わる制約と、洗浄技術が実現可能な機能との関係を体系的に整理し、リスク削減を目的とした代替案の生成と機能評価のための技術情報として体系化した。

リスク削減を目的として代替洗浄剤を利用する場合、物質の変更によりリスクトレードオフが発生する可能性がある。3.2では、化学物質の利用に伴い発生する様々なリスクを地球規模の一般環境に与える潜在的影響（一般環境影響）と地理的により狭い範囲で発生するリスク（局所リスク）とに分類したうえで、前者を評価する手法としてライフサイクルアセスメント（LCA）を、後者を評価する手法としてリスクアセスメント（RA）を採用し、洗浄剤間のリスクトレードオフの

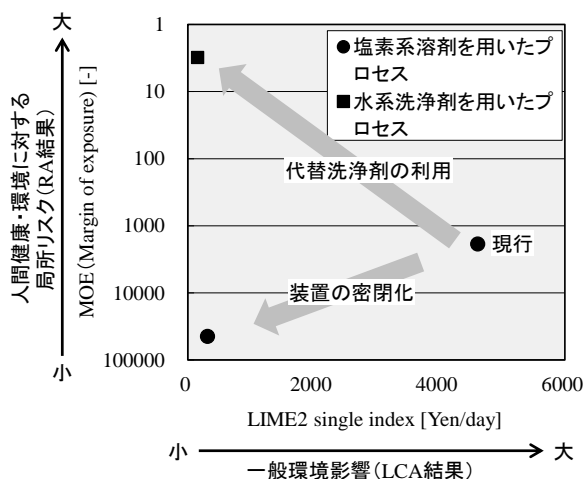


図3 LCA と RA によるリスク解析

解析を行った。LCAとRAを統合的に用いてリスク解析を行うことで、図3に示すように意思決定要素の一つであるリスクを可視化され、代替案の選択を支援することが可能となる。

代替案のリスク解析を行う際に必要なデータを推算するためにプロセスモデルが必要となる。金属洗浄プロセスの多くは開放系であり、閉鎖系に比べ物質のマスフローが複雑であるため、モデリングのためのプロセス内の現象解析が十分に行われてこなかった。そこで、3.3では、塩素系溶剤と開放系装置を用いた洗浄プロセスを対象とし、実験で作業環境濃度等のモニタリングを行いプロセスから排出される溶剤のマスフローを解析した。解析結果にもとづき、オペレーション条件に応じた溶剤排出量推算のためのプロセスモデルを構築した。

Chapter 4 意思決定における制約の管理

Chapter 4では金属洗浄におけるプロセス改善のための意思決定事例を解析し、3つの意思決定要素間の競合を回避するための、プロセスに対する制約の管理手順を図4のように構築した。リスク削減に伴いコスト上昇が発生する場合、代替案の費用対効果を分析することで予算変更の判断に必要な情報を得ることができる。一方、リスク削減に伴い機能が低下する場合、品質や処理量に関連する制約の決定権の所在を分析する。洗浄サイト内部での変更が難しい場合、決定権を持つサプライチェーン内の他の企業とのコミュニケーションを行い、変更可能であるかの判断を行う。

Chapter 5 アクティビティモデリングによるフレームワークの構築

Chapter 5では、Chapter 2~4で得られた結果をもとに、IDEF0手法を用いて化学物質リスク管理フレームワークに必要なアクティビティと情報やツールの流れを可視化した。複数の人間が携わるリスク管理業務をモデル化するために、プロジェクトに参加するプロジェクト管理者、エンジニア、研究者の3種類の視点別にアクティビティモデルを作成した。さ

らに、図5に示すように3つのモデル間の情報の流れを別途記述した。このように、権限や能力の異なる視点別にアクティビティモデリングを行うことで、リスク管理の参加者が果たすべき役割と必要な連携を明確にした実践的なフレームワークを構築した。

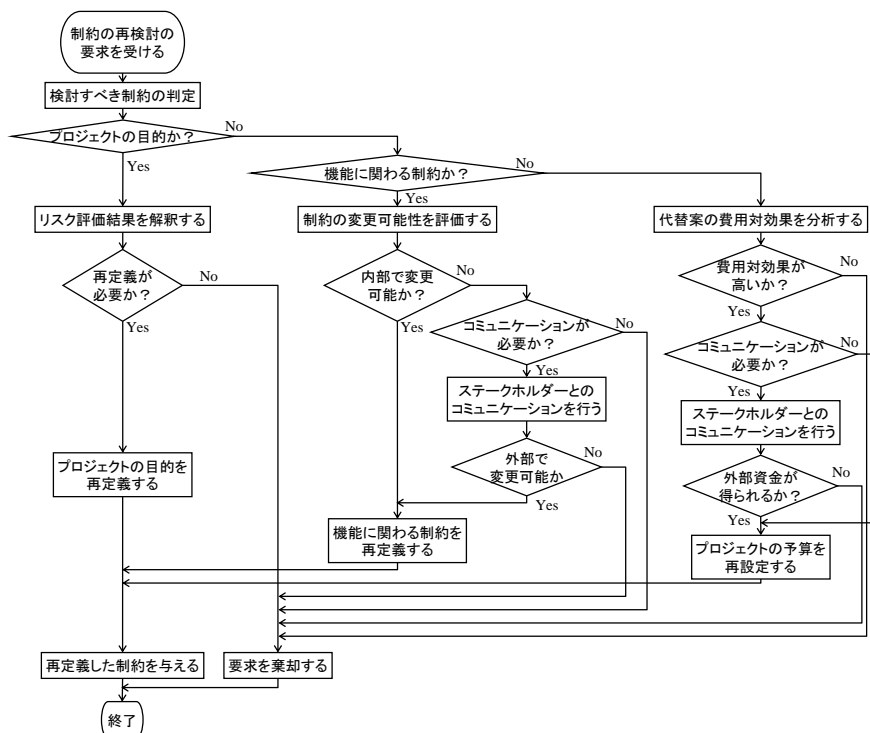


図4 意思決定要素間の競合を回避するための制約の管理フロー

Chapter 6 結言と今後の展望

本研究では、化学物質リスクの削減を目的としたプロセス設計において必要な作業と知識を体系化することで、製品製造における化学物質リスク管理フレームワークを構築した。川中産業のリスク管理に関して、ケーススタディにおいて問題構造の分析を行ったうえで知識の体系化と意思決定手順を構築することで、問題解決のための実践的なフレームワークを構築、提案した。

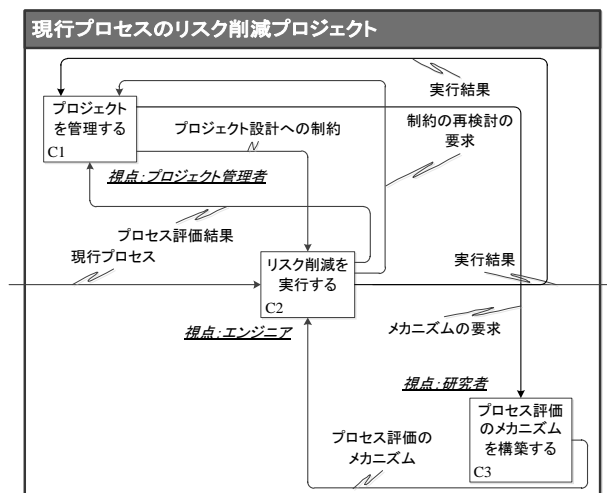


図5 化学物質管理フレームワークのアクティビティモデルの全体像

- [1] Hauschild, M.Z. et al. (2008) Environ. Sci. Technol. 42, pp.7032-7037.
- [2] Molander, S. et al. (2004) Int. J. Life Cycle Assess. 9, pp.282-288.
- [3] Rebitzer, G. et al. (2004) Environ. Int. 30, pp.701-720.
- [4] Kolluru, R. et al. (1996) McGras-Hill, Inc. ISBN 0-07-035987-3.
- [5] Chen, H., Shonnard, D.R. (2004) Ind. Eng. Chem. Res. 43, pp.535-552.
- [6] Sugiyama, H. et al. (2008) AIChE J. 54, pp.1037-1053.