

早稲田大学大学院情報生産システム研究科

博士論文概要

論文題目

大規模石油化学プラントにおける
信頼性とコストを考慮した
最適な設備管理に関する研究

申請者
林 和弘

情報生産システム工学専攻
生産プロセス工学研究

2021年 9月

社会や産業のインフラが 50 年を迎え事故防止のマネジメントシステムが要求される中、限りあるリソースを有効にマネジメントして主に設備の信頼性の確保と設備管理コストの最適化を目指す設備管理が必須となっている。世の中の様々な要求に対して最適化を目指す設備管理は人系の自動化が難しい分野で、要求も変化し成果の評価も長期間を要することからこれまで論理的に体系化されてこなかった。ただ日本のものづくりで設備管理の技術は世界でも誇れるレベルにあり、最適化を目指すマネジメントを標準化し利用できる技術にすることが求められている。本研究では、大規模石油化学プラントにおける最適な設備管理を多目的最適化問題として捉えて論理的に定式化した解法とその適用で標準化した技術を示す。対象をハードの設備で構成されるプラントとし、成立する解法に以下の 2 項のアプローチを提案している。

(1) 設備の信頼性と設備管理コストの妥協点の探索

(2) プラントの長期連続運転の実現

設備の信頼性と設備管理コストの妥協点の探索のアプローチは、リスクアセスメントを基にした優先度設定により定式化され、計画から実行の標準化と定量化を図って最適な設備管理の技術を目指す。法的制約が前提のプラントの長期連続運転の実現では、段階的に設備の信頼性の向上を図って最適な設備管理を達成する論理的な技術について論じる。具体的には筆者が実践してきた設備管理のレベル向上やコストの低減の技術の標準化である。以下に各章の概要と成果を述べる。

第 1 章では、本研究の背景である設備管理の現状や技術の動向から課題を整理して研究の必要性を述べ、さらに目的と構成を示す。主に人系のソフト面を今後の研究課題とし、ハード面のプラントの最適な設備管理を目指す技術を対象として 2 項のアプローチを提案した。

第 2 章では、対象であるプラントの設備管理の成り立ちを石油化学工業の概観から示し、解法であるアプローチの定式化と標準化した技術を述べる。信頼性とコストの妥協点の探索では、リスクを影響度と信頼度のマトリクスで評価する「リスクアセスメントを基にした優先度設定」について論じる。設備管理の計画設定でトレードオフにある信頼性の確保とコストの低減の妥協点の探索は難しいが、リスクによる優先度設定を基にすれば合理的な解が得られる。有限リソースで効果的な計画を実現する標準化した技術は多数の関係者による合理的な意思決定手段として有効である。リスク評価による修繕費の優先度設定は社員約 4 万の事例企業で約 5 万件/年を 20 年以上適用されている。

法的制約のプラントの長期連続運転の実現では、筆者が実践してきた 5 ステップの設備管理で信頼性の向上を図り、法による審査を経て設備管理コストの低減と大幅な生産性向上の最適化を達成する。そのメリットは事業所単位で 20~30 億円/年と目算される。5 ステップの設備管理は以下のように体系化する。

(1) 業務分掌による役割分担から知識や経験の維持と向上を図る体制の構築

(2) 異常兆候の早期発見による安定運転の確保で設備の寿命を発揮させる

(3) 顕在化した故障の結果系から取り組むトラブルの再発防止による信頼性の向上

(4) 阻害要因の腐食、磨耗、汚れ、閉塞、振動、疲労、経年劣化の原因系から取り組む安定連続運転への対応

(5) 網羅的な劣化モードの抽出で、寿命予測を基にした筆者考案の設備管理シートを使った長期安全安定操業の確保

設備管理シートは、管理の部位ごとの形状や材質と流体の微量成分までの組み合わせで、劣化モードを抜けなく抽出して設備管理手法を設定する。検査や寿命予測とその評価で措置を含め供用期間を検証するツールとして認知されている。

第3章では、2項の定式を適用して標準化した技術を示す。劣化の管理を取り上げ、工場設備、塗装、配管管理、外面腐食、ステンレス製機器、工業用水熱交換器で、信頼性とコストの最適化の技術と長期連続運転を実現する信頼性向上の技術を述べる。さらに設備管理活動のソフト面の影響を測定し制御するためのパフォーマンスを指標により評価する技術について説明する。

経年化による劣化の管理では、劣化を基点とした管理の方法について述べ、寿命予測を基にした設備管理に必要な検査や診断技術のコストと信頼性確保の最適化にリスクアセスメントによる優先度設定を適用する技術を示す。

劣化の管理には、個別で行う通常管理と集合体基準で行う管理があり、集合体基準で行う塗装の管理は合理的な劣化の評価による優先度設定の技術を適用する。事例事業所の約3億円の塗装維持費が適用後に1/3以下に低減した。

配管の劣化管理では、広範囲で複雑に敷設され膨大な配慮すべき部位や部品を有し、経年化に伴い劣化を懸念する箇所も増加して事故・トラブルのリスクが高まっていることが課題であった。管理するには論理的、体系的な取り組みが必要で、PDCAを意識した業務フローと具体的な管理の要領について述べる。事例企業での管理強化の効果は、従前の漏洩事故や生産に影響を与えた配管トラブルの年平均24件での推移が3年目には年5件に低減している。全トラブルに占める配管割合も従前が25～30%、3年目に13%で半減している。

外面腐食の劣化の管理では、特に外観では検知できない断熱材下外面腐食の管理のための検査に多額のコストが必要であり、信頼性確保との最適化にリスク評価による優先度の設定を適用する。劣化メカニズムに基づき定めた指標を評価して検査の優先度設定を行った結果、機器では3年後、配管では5年後に故障0件を達成している。さらに評価の精度向上を目指し、検査データを基に多変量解析で炭素鋼製機器や配管の外面腐食速度の予測式を策定し寿命予測する技術についても述べる。配管の予測式は $V=0.006 \times K + 0.09$ ($K=1.0 \sim 41.08$)で示され、外面腐食速度は0.096～0.34mm/年の値となる。

ステンレス製機器の鋭敏化による劣化の管理では、原因系からの取り組みで鋭敏化の評価と復元の標準化した技術による信頼性向上を述べる。鋭敏化の許

容しきい値とそれを満足する溶接入熱 $6,000 \text{ J/cm}$ 以下に抑える補修法により、更新費用数千万円/基の延命が可能となった。

工業用水熱交換器の設備管理の最適化では、トレードオフの関係にある熱交換器の設備管理コストと工業用水の水処理コストに多変量解析を適用した技術を示す。工業用水熱交換器の結果系の日常管理の雑多なデータや設備管理のデータを使用して、設備管理と水処理の最適条件を求める技術である。事例事業所の 31 のプラントに適用し 2 年後に保全費用と水処理費用の総費用 7 億円を 20% 超低減している。

パフォーマンスの維持・向上を図るソフト面があり、その影響を測定し制御する技術として、設備管理のパフォーマンスに要求される定量的な指標の定義とその評価によるマネジメントシステムを提示する。特性要因図で指標と成り得る項目を大中小の 3 階層で整理し、設備管理コスト、設備の信頼性、設備管理方針、設備管理組織、文書規定、企業風土の 6 大項目を得た。指標となる小項目は、分数で数値化できる指標とし、分子は実施した数で、分母は対象となる数とした。保安面を含む設備管理活動の数値化した目標の設定や比較を容易にしておき 4 事業所 13 プラントに適用した技術を説明する。

第 4 章では、本論文の研究テーマである大規模石油化学プラントにおける信頼性とコストを考慮した最適な設備管理に関する研究を総括して結論を述べる。本研究では、最適な設備管理を目指す技術として 2 つのアプローチを定式化して、それを基に標準化した技術を示した。合理的な解を得るリスクアセスメントを基にした設備管理の優先度設定と 5 ステップの設備管理で信頼性の向上を図り最適化を達成する 2 つである。ただしハード面のプラントの最適な設備管理を目指す技術を主な対象とし、設備管理を実行する人系のパフォーマンスを維持・向上させるソフト面は、測定し制御するためのパフォーマンスの指標を除いて今後の研究課題としている。

以上の本研究の成果を要約すると以下がいえる。設備管理の活動において限られた資源の中で優先度を設定して、主に信頼度とコストの最適化を図る標準化された技術はこれまでなかった。様々な設備管理の活動に概念としての信頼度と影響度を当て嵌めて、そのマトリクスで設定する優先度を基に最適化を図る標準化した技術を本研究で提案している。さらに日本の石油化学プラントが存続するための必須条件として規制緩和の享受による長期連続運転の達成による最適化がある。資格要件は示されているが、そこに至る道程は企業側に委ねられ標準化された技術はない。そこで段階的に信頼性を向上する 5 ステップの設備管理を提案した。標準化した技術では、信頼性の向上や設備管理コストの低減も検証されている。設備管理の有限リソースを何に投入して最適化を図るのかは、プラント毎に、時系列でも異なるが、2 つの技術を基に具体的な標準化した技術を提示したことで、該当する必要な技術が再現できる。