

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06843

研究課題名(和文) 製造現場における安全性と生産性を両立するエンジニアリング業務支援環境の構築

研究課題名(英文) Development of Engineering Support Environment Archiving both Safety and Productivity on the Manufacturing Site

研究代表者

北島 禎二 (Kitajima, Teiji)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80273845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、化学プロセス産業を対象に製造現場において高い安全性と生産性を両立させることを可能とするプロセス・プラントのエンジニアリングのための設計・開発支援環境の実現を目的とした、エンジニアリング業務機能の在るべき姿となる業務プロセスモデルをベースに工程設計・管理業務の要求開発を行うことにより、製造現場の業務を論理的に支援するエンジニアリング支援環境について、以下2点に着目して検討した。

【目的1】工程設計・管理のエンジニアリング業務プロセスモデル構築

【目的2】製造現場で「使える」エンジニアリング業務支援環境の実現

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、世界的にも製造業のスマート化に関する議論が盛んとなり、国内ではAI(人工知能)やIoT(モノのインターネット)といった要素技術面ばかりが着目されてきた。本研究ではより戦略的な観点から、製造の業たる業務がどのようにあるべきか、またそのあるべき業務のために真に必要な支援は何かという点に着目し、安全と生産の両者にまつわる機能/活動を製造現場の業務プロセスとして捉えることにより、これまで学術的にも実務的にも別々とされたきた安全性と生産性を論理的に統合したエンジニアリング環境の在り方について模索した。本成果で示すアプローチは、今後の国内製造業のスマート化の戦略的な観点となり得るもののひとつである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize a support environment for engineering design and development of process-plants that can achieve both high safety and productivity at the manufacturing site in chemical process industry. The support environment, which logically supports the operations at the manufacturing site, has been developed by the requirements development for process-design and -management activities based on the business process model representing to-be engineering functions. For the purpose of this study, following two points were considered: [Objective 1] Development of the engineering business process model for process-design and -management, [Objective 2] Realization of "usable" engineering support environment at manufacturing site.

研究分野：プロセスシステム工学

キーワード：化学プロセス産業 プラントライフサイクル・エンジニアリング プロセス安全管理 業務プロセスモデル 工程設計・管理 スマート・マニファクチャリング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2012年から、周辺住民にまで影響を与える大事故が国内の化学プラントで相次いで発生した。これらの事故に対して、非常時及び設備・製造方法等の変更時といった製造現場におけるエンジニアリング業務に関するリスクアセスメントが不十分であることや現場対応力の低下が共通の問題点として取り上げられており、産業構造審議会でもその対策の重要性が掲げられた(経済産業省:「産業事故の発生防止に向けた対応の方向性」, 2013.)。

化学プラントの安全に関する学術的な取り組みとしては、米国化学工学会が化学プロセス安全管理センター(CCPS; Center for Chemical Process Safety)を設立し、産学が連携して様々なガイドラインを発行しながら、体系的なリスク管理を実用している。一方で国内では、製造現場において安全の推進は本業である生産に対して余計な業務とみなされ、リスクアセスメントを有効的に実施するのは困難であり、「安全を確保しながら製造を続ける」ための安全と生産の一体化には程遠い状況にある。学術的な取り組みについても同様、生産、安全のそれぞれの側面に対するものは多々あるものの、安全と生産の両者にまつわる事柄を統合して製造現場の業務として捉える試みは、化学工学会安全部会を中心とした一部の学術的な取り組みがあるのみである。

同安全部会ではこれまでに、化学企業、大学、研究機関のメンバから成る、プロセス安全に関する調査・議論のための研究ワーキンググループ(WG)を設立し、その結果をテクニカルレポートとしてまとめてきた。これらのWG活動を通じて、プロセス安全管理や変更管理の在るべき業務の流れを、製造に関する国際標準規格(IEC 62264 および IEC 61512)を参照して構築したプラント・ライフサイクル(研究・開発、設計、建設、生産(運転・保安)、廃棄)・エンジニアリング業務プロセスモデルによって導出できることが示されてきたが、具体的なリスク管理のための包括的なエンジニアリング手段の議論については、重要なながらも今後の課題とされていた。

現場力の低下が叫ばれながらも常日ごろ危険と直面している製造現場において、安全と生産を両立させることができるようなエンジニアリング業務の実現が急務である。事故・災害の対策としては、現場教育や管理の徹底も大切ではあるが、状況が刻一刻と変化する現場においては、設計エンジニアリング段階からプラントをより本質的に安全にする取り組みが必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、エンジニアリング業務を系統的に支援する環境の構築を目的とした。化学工学会安全部会WGにより構築済みの設計、生産(運転・保安)、プロセス安全管理の各業務プロセスモデルを土台とし、以下の2点に着目して製造現場において安全と生産を両立させることが可能な工程設計・管理のためのエンジニアリング業務支援環境について検討する。

【目的1】工程設計・管理のエンジニアリング業務プロセスモデル構築:構築してきた生産の業務プロセスモデルを基に、具体的な「エンジニアリング業務に関するケーススタディ・シナリオの策定」と並行して、既存モデルの詳細レベルを拡張・展開して、「工程設計・管理に関する業務プロセスモデルへの拡張・展開」を行う。

【目的2】製造現場で「使える」エンジニアリング業務支援環境の実現:生産管理、安全管理のための様々なツールが開発され市販されているが、その多くは具体的にエンジニアリング業務のどの場面でどのように使うのかが曖昧なまま「豊富な」機能が提供されており、一部の熟練者でなければ使いこなせない。そこで本研究では、まず業務プロセスモデルに基づいた要求分析及び機能要件定義の開発手法を用いて、【目的1】で明らかにした業務プロセスモデルをベースにすることにより、既存の職制や組織に依存しない論理的な機能面に関する「工程設計・管理業務支援に対する要求開発」を行う。

3. 研究の方法

上記の【目的1】、【目的2】を達成するため、以下の3つの課題に取り組む。

(1) 業務シナリオ策定と工程設計・管理業務プロセスモデルの詳細レベルの拡張・展開:開発するエンジニアリング支援環境の評価のためのプロセス・プラントモデル及び業務シナリオを設定する。設定したプロセス・プラントモデルに関して、業務プロセスモデル上でプロセス安全管理を含めた工程設計・管理のあり得る具体的な業務を検討し、製造現場におけるエンジニアリング業務の典型的なシナリオとしてまとめる。

(2) 業務プロセスモデル・ベースの工程設計・管理エンジニアリング業務支援の要求開発:プラントライフサイクル・エンジニアリングのための業務プロセスモデルとして、設計の一部と生産に関するモデルが構築されている。策定したシナリオを表現できるよう、既往の研究成果を用いて、設計ステージの詳細レベルを拡張・展開する。同様に、プロセス安全管理に関する業務プロセスモデルについても、工程設計・管理に相当する詳細レベルの下位階層を拡張・展開する。

(3) 既存ソフトウェアをベースとした要求開発:システム化のため、To-beの業務プロセスモデルを反映した業務シナリオに対して、既存のエンジニアリング・ツールをベースに必要な要求開発(要求分析及び要件定義)を行う。

生産、安全の両側面について既に様々な標準規格が存在し、現在も改訂や新規提案がなされ

ている．これらとの整合性や一貫性を，形式的にはなく，論理的にはかため，常に最新動向を周辺動向までも含めて調査する．その継続により，それらの技術的側面にのみにとらわれることなく，我が国の産業の戦略的視点からのポジショニングを考慮して研究を進める．

4．研究成果

(1) プロセス・プラントの設計根拠情報と製造運転情報とを活用した設備保全管理モデルの提案

一旦稼働したプロセス・プラントにおいて安全を担保する重要な機能が設備保全管理である．まずはプロセス・プラントの安全性に関して 製造実施と密接に関係する保全業務に着目した．

昨今ではプラントデータを AI 技術によって活用した状態ベース保全の議論も盛んであるが，これはあくまでも運転によって得られたデータに基づいたリアクティブなリスク管理方針であると言える．本来，プロセス・プラントはその存在価値の第一義である製造に関して合目的な設計がなされている．言い換えれば，プラントライフサイクル・エンジニアリング業務プロセスの設計フェーズにおいて，安全側面を第一に考慮した上で様々な意思決定がなされており，その際に設計の根拠となる様々な情報が作り出されている．その設計ベースに対して，製造を実施した際の運転によってプロセス・プラントに加えらるる変更・変化が加味された結果を考慮した指標（＝リスク）をベースに保全業務にトリガがかかるような，プロアクティブな仕組みを構築するため，その管理モデルを具体的なシナリオに対して検討し・提案した．

業務プロセスモデルに基づくシナリオとしては，水素化脱硫プロセスの硫化水素アンモニウムによる腐食を題材とした．このケースでは運転状況によって想定以上に腐食が進行するが，そのことは通常的设计結果情報のみからは保全の監視ポイントとして見落とされ，漏洩事故に至る可能性がある．

このケーススタディ・シナリオに基づいて要求分析・開発を行った結果，以下の成果が得られ，このようなモデルをベースとしたエンジニアリング業務の進め方を採用することにより，プロセスエンジニアとプラントエンジニアとの協働において齟齬が生じにくくなり，素早い上市が可能となると期待できる．

概念設計の業務プロセスモデルの構築（展開・拡張）と設計根拠情報の整理

工程設計の根幹となるプロセス・プラントの概念設計の業務プロセスモデルに関して，既存のモデルを展開・拡張することによって構築しなおした．これにより，設計根拠（情報）が概念設計フェーズのどこで必要とされるかが明確となった．

また，研究開発（R&D）に対して，どのような情報を要求しなければならないかが明確となり，プロセス・プラントに関して特有の二つのライフサイクル，プロセスライフサイクルとプラントライフサイクルとの関係が明確となった（図1）．

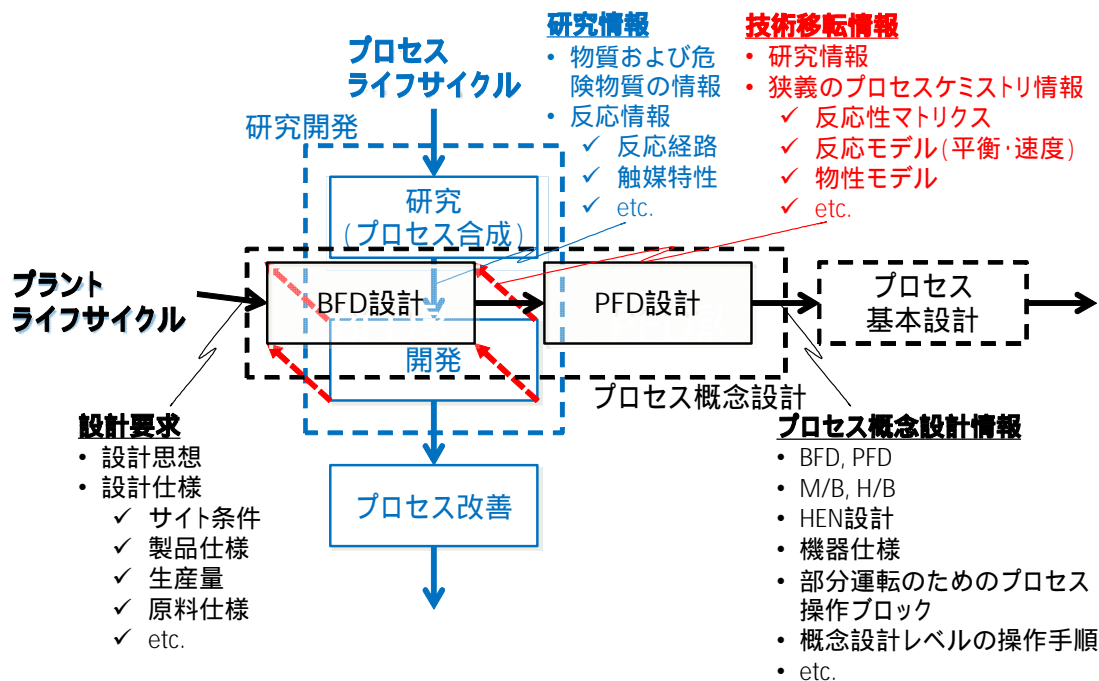


図1 プロセスライフサイクルとプラントライフサイクル

設計根拠情報と設計結果情報（プラント構造体情報）との関連モデルの提案

概念設計時の検討では，おもに現象論的に望ましくない事象の進展を想定し，その進展を阻止する対策が講じられる．その具体的な表象物が設計結果としてのプラント構造体となる．そのような事象の進展を簡易なグラフ図で表し，上記で明確となった設計根拠情報と紐づけるこ

とによって、何故そのようなプラント構造となっているのかが、運転や保全の業務に関わる製造現場でも把握しやすくなることが期待できる。

モデル化手法の一般化までは至らなかったが、上記ケーススタディに関するインスタンス・モデルを構築し、さらに事象進展の定量的な情報を付加するための簡易なプロセスシミュレータとの連携のための枠組みの有効性を検証した。

現在、国際標準規格では製造業における生産のスマート化に関する提案が次々となされており、とくに R&D から上市までの迅速化が強く求められている。その一方で、プロセス・プラントの安全への関心は高く、とくに化学物質の安全や爆発・火災といった事象のみならず、それらも含めて包括的にみるプロセス安全の観点の重要性が増している。生産に関しては設備機器的な側面からの標準化が主流であり、プロセスに着目したものは極めて少ないというのが、本研究に伴って行った調査から得られた結論である。本成果は、そうした生産と安全との溝を埋める提言となるものと考えられる。

(2) 業務プロセスモデルに基づいたプロセス・プラントの変更管理に必要な情報の整理

実プラントのライフは当初の想定よりも長く、半世紀にも及ぶことも稀ではなく、その長期間に様々な改造・変更が施されることになる。変更が原因となった重大事故も世界中で発生しており、適切な変更管理はプロセス・プラントの安定操業・安全において非常に重要な課題である。上記の成果(1)により、プラントライフサイクル・エンジニアリングにおいて残すべき設計根拠情報が明らかとなったことを受けて、変更管理事例を題材としてその情報活用に関して検討し、以下の成果を得た。

業務プロセスモデルに基づくアプローチの変更管理事例における有用性検証

成果(1)では、R&D、設計から運転、保全へとつながる直進的な流れを対象としたが、ここでは変更という戻りを含む業務プロセスのサイクル過程を対象とすることにより、プラントライフサイクル全般において本研究のアプローチが通用し得ることを、石油精製プロセスの生産量変更をケーススタディとして検証した。

変更管理支援システムの要求開発

変更をエンジニアリング業務機能として捉え直すと、既存の設備や（検討済み）情報が存在するという条件での（再）設計に他ならない。変更管理時にチェックすべき項目を業務プロセスモデル上で明らかとなった設計根拠情報から抽出し、近年エンジニアリング・ツールのフロントエンド的ユーザインタフェースとして利用されつつあるインテリジェント CAD システム上に表示するエンジニアリング業務支援環境の要件を整理した。

実際には CAD システムの裏には、プロセス・プラント情報に関するデータベース（DB）システムがあり、海外ではプロセス・プラントに関する情報リソースをそこで一括管理する仕組みが整いつつある。このようなインテリジェントなエンジニアリング・ツールを前提にすれば、本研究の仕組みは比較的容易に拡張可能であり、プラントライフサイクル全般をカバーする枠組みの構築を今後も続けて行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 北島禎二
2. 発表標題 設計根拠としてのプロセスケミストリ情報の要件定義
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo Fuchino, Teiji Kitajima, and Yukiyasu Shimada
2. 発表標題 Representation of Process Design Rationale for Change Management
3. 学会等名 Probabilistic Safety Assessment & Management conference (PSAM) 14 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro TAKEDA, Tetsuo FUCHINO, Hideo SAITO, Teiji KITAJIMA, Yukiyasu SHIMADA, Kensuke IUCHI
2. 発表標題 Development automatically checklist generator for supporting management of change based on business process model
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

- ・業界紙解説：北島禎二，【巻頭概説】バッチプロセスに関する研究分科会：「PSE143委員会 WS33 Smart Recipe」～設立の背景と狙い，計装，Vol.62，No.9，pp.9-12，2019。
- ・学会講習会：北島禎二，プロセス産業のエンジニアはスマート化の夢を見るか？，第53回化学工学の進歩講習会，2019。
- ・計測展セミナー：北島禎二，IoT時代の製造業リファレンスモデル-業務プロセスモデル-，JEMIMAにおけるIoTへの取り組みと課題，計測展2017，2017。
- ・フォーラム：【基調講演】北島禎二，プロセス産業の標準モデルから見た製造業のスマート化，IoTイノベーションフォーラム2018，地方独立行政法人 神奈川県立産業技術総合研究所，2018。
- ・業界団体講習会：北島禎二，プロセス産業におけるスマート化を考える，4th Industrial Revolution Academy，ロボット革命イニシアティブ協議会，2019。
- ・学会誌特集企画担当：「リスクに基づくプロセス安全」，化学工学会誌，Vol.82，No.11，2018。
- ・学会誌記事：斉藤日出雄，北島禎二，変更管理のあり方，化学工学会誌，Vol.82，No.11，654-657，2018。
- ・学会誌特集企画担当：「プロセス産業のスマート化への挑戦 -Smart Manufacturing, Industrie 4.0, IoT-」，化学工学会誌，Vol.83，No.4，2019。
- ・学会誌特集企画担当：「化学プラントのライフサイクル・エンジニアリング」，化学工学会誌，Vol.84，No.3，2020。
- ・学会誌記事：島田行恭，北島禎二，清田隆範，統合化されたプロセス安全情報を活用したライフサイクル・エンジニアリング，化学工学会誌，Vol.84，No.3，139-142，2020。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	瀧野 哲郎 (Fuchino Tetsuo) (30219076)	東京工業大学・理工学研究科・准教授 (12608)	
連携研究者	島田 行恭 (Shimada Yukiyasu) (10253006)	独立行政法人労働安全衛生総合研究所・化学安全研究グループ・上席研究員 (82629)	
連携研究者	武田 和宏 (Takeda Kazuhiro) (60274502)	静岡大学・大学院工学領域・准教授 (13801)	