

経営工学50周年記念誌では、その時代の教官が、どのようなことを考え、研究・教育に取り組んでいたかという記録が求められるのであろう。化学工学を専攻し、プロセスシステム工学を研究分野として、省エネルギープロセスの開発、プロセス制御を研究してきた。経営工学の教育に参加したのは、2003年にシステムマネジメント工学科が創設され、産業マネジメントコースの教官となってからであるが、それ以来、“うまく仕事を進める技術”が経営工学であるとの認識のもと、様々な観点の研究を行ってきている。特に、対象を把握するためのモデリング、そのモデルを基にした制御や政策の立案が共通のアプローチである。

ここでは、具体的な例として、3つの例を示す。

高付加価値製品は、製品寿命が短く、収益性にとって、操業中の収率の改善よりも、研究開発から市場化までの期間の短縮が重要である。実際には、現象は解析できていないけれども、製造運用されている製品や装置は少なくない。ハイブリッド自動車の電池として利用されているニッケル水素電池は、メモリ効果や分極など複雑な現象が存在することはよく知られているが、それらのすべてを説明できるシミュレーションモデルは存在せず、その電池容量や、その推定値に基づく充放電の制御には、モデルベースのアプローチは用いられていない。実験の繰り返しによりルールを合成するアプローチが用いられているのが現状である。また、薬品の精製では、全く同じ薬品なのに、冷却方法など精製装置の運転条件で、現れる結晶構造が変化し（雪という水の結晶には様々な形状がある）、その結晶構造により胃で解けるはずが腸に運ばれてしまう問題などが発生する。薬品の精製に利用されている晶析装置では、過飽和状態になってから結晶の核が発生する現象に対して実験式は求められているが、その再現性は高くなく、日本の晶析の技術者の多くはシミュレーションに否定的である。液晶パネルの材料である光学フィルムの製造も現場の技術が支えている代表的な製品である。高分子フィルムを延伸することで、高分子の配向を調整し、光がフィルムを透過する際の回転を調整する。光の透過特性を位相差と光軸という指標で評価するが、その特性は、延伸の仕方によって変化する。製品の測定結果に基づいて、多くの製造パラメータが決定されており、現場での操業条件のつくりこみが日本企業の技術力となっている。工程内での光学特性の発現のシミュレーションはされておらず、現場のknow-howでフィルムに対する要求に適した操業条件が探索されている。これらの問題でシミュレーションが利用されていないのは、キーになるモデル構造をとらえられていないことによるもので、場当たりに（ローカルに）線形のブラックボックスモデルを貼り付けて検討するのではなく、対象の現象論的な非線形特性をモデルに取り込む努力を続けければ、モデルの信頼性を向上させることができるはずであるとの思いのもと、これらの問題に対するモデリングに取り組んできた（太田ら2009, Ithohら2002, 佐原2011, 山崎2011）。これらは、企業の協力の下、実験データや実験装置の提供を受け、進めてきた。いずれも、現場での実験ベースの改善から、シミュレーションに基づいたモデルベースの開発になることを目指したもので、ここでは、フィルムのシミュレーションの例を紹介する。

開発から市場化までのスピードアップをめざすほかの検討として、組織力の向上を検討する試みも行っている。現在、開発とシステム、製造は別々の担当者が行っており、情報交換しながら進めているのであるが、その分業における関係者の関わりを見直すことによりさらに効率が向上すると考えられる。多品種少量生産を行うバッチプラントにおいては、新製品の製造レシピのつくりこみが重要課題であるが、レシピにおける不確定性を明確にし、その不確定性を削減することを、組織として協力して行うことが望まれる。そのため議論のプラットフォームとして、商品に依存しない業務モデルを開発し、異なる業務の担当者が状況認識を共通化し、重点化する対象をいっしょに議論し、合意形成するためのツールを提案している。このツールは、開発という不確定性が高く、やりなおしの可能性が高い業務でのスピードアップをシミュレーションを導入して検討するもので、産学共同の研究会で、化学産業の実務担当と議論し作成したものである。

最後に紹介するものは、プラント制御、運転支援の検討を、サイバーテロに対する対策にまで拡大したものである。ちょうど、この50周年の今年3月11日、東日本大震災が発生し、原発の安全神話が崩壊した。福島第一原発においては、津波により冷却系が失われ、メルトダウンが起き、水素爆発が発生し、周辺が放射能汚染される事態が発生してしまった。また、その後の放水で、高濃度の汚染水が海洋にも漏れ出し、5月中旬になっても、収束のめどがみえていない。プラントの安全を何重にも確保しているというこれまでの原発の説明を、自分自身深く考えずに信じていたところがあつたと反省している。事故の想定ははしていても、安全対策をとっているので起こりえないということで、事故が生じた後の安全対策を軽視した面があつたと考えられる。今回の原因が津波だったので、津波に対する対策を強化するという後追いの対策で安全性を確保しようという議論が続いているように感じるが、これではいつまでも想定外の事故が発生してしまう。地震で地盤が割れ、1m以上の段差が発生することは珍しくないが、原発の真下の地盤の割れを想定すると、その冷却系の機能を保ち続けることは難しいであろう。このようなことも起こるという前提で事前、事後の議論を真摯にすべきであろう。サイバーテロは、悪意による攻撃を想定するもので、従来の「2重化すれば、べき乗で故障率が下がる」というような偶然によるトラブルではなく、さまざまな手段を駆使してくると考えられる。同時に多くの箇所にトラブルを発生させようとするという想定であるから、サイバーテロ以外の安全性の見直しにも有効であると考えられる。本来サイバーテロ対策は、ネットワークゲートウェイの設計など情報系を中心に行われているが、今回紹介する例は、どのようなプラント計装を構築すれば、サイバーテロの攻撃を受けても安全性

を確保できるかという観点で、プラント側の対応を検討したものである（豊寫ら2011）。異常事態における対策は、ルールとして登録されるのが通常であるが、プラントの挙動をモデルにより表現し、対策を自動生成するシミュレーションベースド・アプローチ（Hamaguchiら2002）も組み合わせて検討していこうと考えている。適切な運転員の対応を合成するために、運転員の判断・挙動を定性モデルとして表現し、プラントの挙動のモデルと組み合わせるシミュレーションも提案している。

他にも、非線形動的シミュレータによる予測を用いた制御や異常診断などの問題に取り組んでいるが、問題に応じたシミュレーションモデルを開発し、その挙動を最適化するというアプローチには共通性があり、コンピュータの高速化・小型化は今後も進むことが期待でき、動的シミュレーションをリアルタイムに用いて挙動を検討するという方法が、より一般的になるものと期待している。

1. know-howからモデルベースの技術へ（光学フィルムの場合）[佐原2011, 山崎2011より抜粋]

経営工学50周年の今年7月には、アナログ放送が終了するが、この地デジへの移行が、薄型テレビへの移行を推進し、世界的にも液晶パネルの売り上げは伸びている。液晶パネルは日本メーカーにより開発されたのだが、現在、製造量世界一は、韓国メーカーであり、海外のメーカーの生産は増えている。しかし、いまだに、その材料である液晶や偏光板、光学フィルムは、韓国企業との合弁会社が存在するものの、すべて日本メーカーのみにより供給されている(矢崎2009)。最新の装置を購入し、日本のベテラン技術者による指導のもとに、最先端の製造を実現するというビジネスモデルで成功している海外企業の存在を聞くが、光学フィルムに関しては、その形態での海外におけるビジネスの展開は報告されていない。光学フィルムは、その高分子の合成、製膜、延伸と総合的な技術が要求され、一部のベテラン技術者では賄いきれない面が、日本企業だけの製造という体制を維持しているのかもしれない。

現在液晶ディスプレイの大型化が著しく、それに使用できる広幅の光学フィルムの必要性も増してきている。中でも特に、必要とされているのが幅方向に45°に傾いて配向した斜め位相差フィルムである。位相差フィルムは通常偏光フィルムの偏光軸に45°傾けて貼って使用することが多い。現在、位相差フィルムは、縦延伸と横延伸の組み合わせで製造しているため、図1.1のように製造されたフィルムを45度傾けた形に切り抜き、45度回転させ偏光板と貼り合わせている。

しかしこの方法では打ち抜いた余りがロスになったり、貼りあわせるときに切り抜き、回転、貼り合わせという工程が必要で、フィルムの光軸が45度傾いたフィルムを製造できれば、図1.2のようにロールツーロールの貼り合わせが可能となり、工程の合理化が図れる。

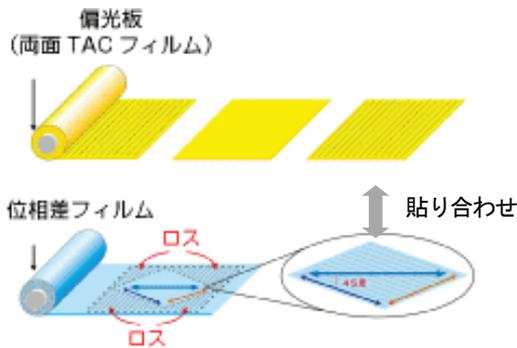


図1.1 位相差フィルムの貼り合わせ

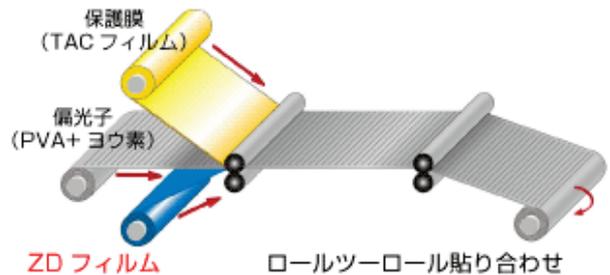


図1.2 ロールツーロール貼り合わせ

(http://www.zeon.co.jp/press/071015_01.htmlより抜粋)

現在、斜め延伸フィルムの製造に一部の企業が成功し、出荷を始めているが、他社も斜め延伸の実現にむけて努力している。この製造には、従来の装置を利用できず、これまでのknow-howを直接利用できない。これまでの、シミュレーションを用いなくても、新たな製造要求を満たす条件を、現場の努力で探索し、顧客の要求に応じてきた。しかし、新たな製造装置が必要になるとき、その製造装置を試作しては、実験するというのでは、効率が悪すぎる。そのため、現実の装置と全く一致するわけではなくても、探索のめどを立てるのに利用できるシミュレータがあれば、装置設計能力は向上すると期待できる。斜め延伸によらず、シミュレーションの必要性は高まっていくものと考えている。

高分子フィルムを延伸することで、図1.3に示すように、高分子が配向し、方向により密度の差が生じる。方向により光の屈折率の差が生じ、位相差が発生する。液晶によっても位相差が生じるので、位相差フィルムは、液晶による位相差を解消するために利用される。位相差だけでなく、力学的な特性にも方向性が発生する。高分子が配向した方向の伸びやすさとそれと直交する方向の伸びやすさには差が発生するが、その差は、配向の度合いによって変化する。

さらに、延伸は加熱しながら行うが、フィルムは熱収縮性を有していて、フィルムの変形には、フィルム自身の収縮も考慮しなければならない。また、力学による計算は、フィルムの変形のひずみと応力の関係を計算するものであるが、評価したいのは、光学特性である位相差と光軸である。光学特性を推定するモデルも取り入れなければならない。

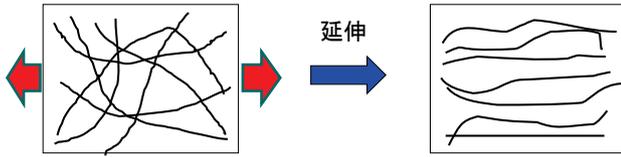


図1.3 延伸による高分子の配向

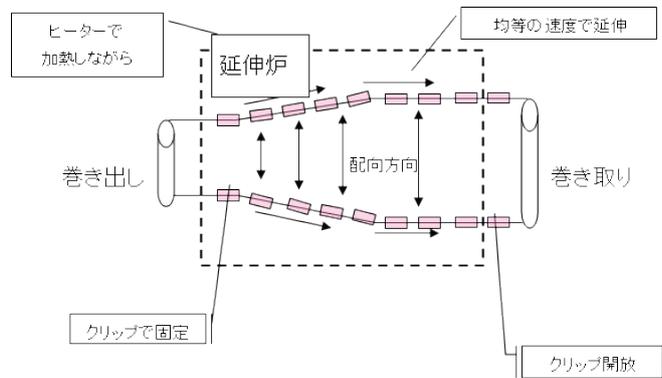


図1.4 横延伸工程

現在、自動車の衝突による変形や大気の流れなど、高度な3次元のシミュレータは存在するが、上記のようなフィルムの特性を表現し、ローラに連続的に供給され、巻き取られ続けるという工程をシミュレートできるツールは存在せず、自前で開発するしかなかった。連続的に繰り出しローラからフィルムが供給され、巻き取りローラで巻き取られ、その間、フィルムは両端をクリップでつかまれ、横に延伸するとする。微小時間ごとに、クリップの移動を境界条件の変化として表し、その微小時間後には、変化した境界条件で力がつりあう状態になるとして有限要素法の計算をつづける。有限要素法のメッシュごとに、異方性の角度を考慮して、変形により異方性も変わる。微小時間の計算後は、フィルムが流れた距離分だけ先の部分を巻き取られたとして、計算対象から切り取り、繰り出しローラから送られる分を補給し、メッシュを設定し直す。このメッシュの切りなおしによる計算値の継承にも工夫をしている。この計算を落ち着くまでつづけることにより、延伸工程内のフィルムの変化を調べる。

図1.5、図1.6には、片側だけテンタを広げて、クリップの走行距離に差をつけて斜めに延伸する工程での光軸の傾きと位相差の変化を示す計算結果である。上端の方が早く巻き取られ、下端の方は遅れて巻き取られる。図1.5に示している直線は、同時に入った両端の点を結ぶ線であるが、色で示される光軸の傾きの変化と、同時に入った両端の傾きの変化とは異なることがわかる。

巻き取られたフィルムの光軸の傾きと、この直線の傾きが異なることは、実験的にも確認されており、シミュレーションはその実験結果を追認する結果になっている。このシミュレーションにより、実際の工場では測定することができない工程内の変化が見える化でき、工程の形状と光学特性の関係についての理解が進むと期待できると、製造現場の方々にも好評である。

このシミュレータを用いて、希望の光軸の傾きを実現する工程の形状と操作条件を求めるためのツールも開発している。品質工学の応答曲面法を用いて、光軸の傾き、位相差が希望通りの値で、ばらつきのないフィルムを得るための工程設計を行う。

これまで、異方性などフィルムの様々な特性をシミュレータに取り込むためのモデル表現および計算法を探求してきたが、今後は、企業の協力のもと、フィルムの物性を求めるテスト方法や、実際と一致させるための調整方法などについて、検討していきたいと考えている。

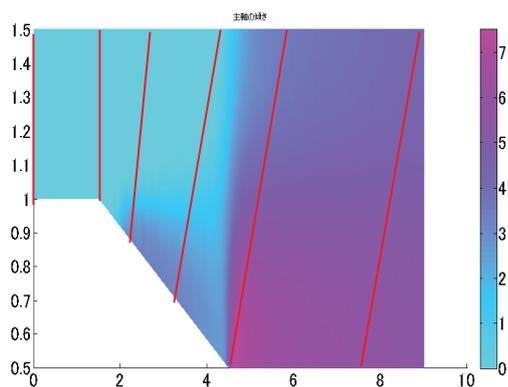


図1.5 延伸工程での光軸の傾き (°) の分布

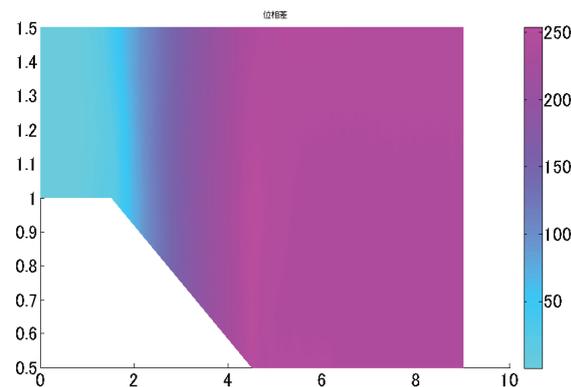


図1.6 延伸工程での位相差(nm)の分布

この研究が、光学フィルムの製造に対する知見の表象化につながり、個人のknow-howから共有できる技術となることで、さらなる高度な要求にもいち早く対応できるようになるものと期待している。

2. レシピ設計プロジェクト推進能力向上のためのシミュレーションベースド・マネジメント [河野ら2011より抜粋]

付加価値の高い機能化学品の多くは、多品種変量生産に適しているバッチプロセスにて製造されている。近年は、製品のライフサイクルが短くなってきているだけでなく、顧客から個別に品質の指定を受けて製品設計や装置開発から実施する割合が高くなってきてい

る。製品設計の核となるレシピについては、その設計業務が開発担当者の能力に依存するケースが多いだけでなく、設計されるレシピ自体がうまく製造できる一通りの運転条件が数値で表現されているだけで、原料特性や装置の汚れといった製造環境の変動と製品品質の関係は表現されていないケースがほとんどである。よって、製造環境の変動に対する製品品質の確保対応は、製造現場の運転員に依存しているのが現状である。それゆえ品質の作り込みは、レシピの質の改善という形ではなく、製造現場の運転員のスキル向上という形で実現され、組織としての知的資産となっていない。

一方、市場化までのスピードアップという観点からレシピ設計業務のシステム化の重要性が各企業で認識されており、プロジェクト管理システムの導入やプロジェクトの推進体制であるマトリックス型組織への組織改革を実施して高い専門性と幅広い技術を管理し、多種多様な顧客要求品質を実現することを目指した活動が行われている。しかし一般のプロジェクト管理システムは、建設など業務の流れがC PMやPERTで計画管理できるようなプロジェクトを対象としており、製品開発のような不確実性が高く、やり直しが多発する業務には不適切である。マトリックス構造においてもその業務でのプロジェクトの経験による各業務組織の能力向上や経験の蓄積は期待できても、業務間での情報共有や連携による組織力向上の観点でのマネジメントにはなっておらず、開発業務の進行管理が依然として熟練者の勘と経験に依存した属人的な業務となっている企業が多い。

そこで本研究では、レシピ設計を構成する業務間の関係を整理し、業務のやり直しを含む現状のレシピ設計過程を表現でき、今後の戦略検討に利用できるモデルを提案する。

ここでは、組織の力および業務の成果に対して、「確信度」という評価指標を導入する。レシピ設計業務の確信度が高いということは、そのレシピが根拠のある情報および手法に基づいて実施されているという意味であり、不確定な部分が少ないことを示す。ただし、確信度が低いからといって、そのレシピが利用できないとは限らない。レシピ開発では、その根拠がしっかりしていなくても、たまたま製品製造に成功するケースもある。しかし、品質生成のメカニズムが十分に把握されていない状況では、つぎのレシピ開発でも成功する確率は高いとは考えられない。各業務の確信度は、その業務で利用する情報(入力)の確からしさとその業務に費やした労力で決まると考える。不確定性が大きな入力情報の下ではいくら労力をかけてもその業務の確信度は上がらない。このように考えることにより、いつ業務をやり直すことが適当かを表現する。

本研究で対象としているのは、ある一つの製品の市場化までを早くするという問題ではなく、製品を市場化するまでの過程のモデル化と、その各段階で適切な判断を行うための指針の提供である。バッチプラントは、汎用性の高さが評価されるものであり、1つのプラントで複数の製品群の製造が想定され、新製品の開発が継続的に行われる。確信度は、新たな製品群の開発に対する組織力を表現するための指標であり、各業務で得られる知見や技術を組織として蓄積し、共有し、レシピの信頼性向上を継続していく体制を推進するうえで、業務間でコミュニケーションをとりながら戦略を検討する際の有効な指標となる。開発業務をモデル化し、複数業務にわたる連携を確信度という指標に基づいてシステマティックに検討する手法を確立することは、多様化した市場に柔軟に対応できるように組織力を向上させるという観点で非常に意義のあることと考えられる。

2.1. 現状の問題点

(1) 製造部門における問題点

たとえば、色材やトナーの製造部門では、同一原料ベンダーが製造した原料でもロットの違いにより原料品質が変動するため、前もって対象ロットの原料サンプルを入手し、納入先の品質規格に合う製造条件を定めている。この例のようにバッチプロセスでは、原料中の不純物や原料特性が製品品質に与える影響といった不確定要素を含んだ状態のまま営業生産していることが多い。製品設計段階で製品品質に関するコントロール因子全てを洗い出すのは困難であり、その結果、原料やプロセス流体の組成変動、装置内混合状態の不均一性や設備の経年変化、計測制御性能等様々な外乱が製品品質に影響を与えている。

それゆえ、レシピ通りに製造しても仕様を満たす製品が生産できず、製造現場にて品質の作り込みを実施しているケースが多い。その作り込みは、運転員のノウハウとして蓄積されるか、状況毎に都度レシピを設計して蓄積されることになる。すなわち、運転員個人の経験知として残ることになるか、製造側固有レシピのバリエーションの増加となる。このように現場での経験が研究開発部門にフィードバックされることが少なく、組織としての知的財産になりにくいのが実情である。

(2) 開発部門における問題点

開発部門では、過去に実施した類似実験/試作や失敗経験で得られた豊富な知見に基づいて、効率的にレシピを設計するケースが多く、熟練者と経験の浅い担当者とは設計所要時間に大きな差が出てくる。また、実験内容や根拠が組織ではなく個人に残っているケースが多いので、重複実験を誘発しやすい環境である。またレシピ設計業務において、マネジメントが不十分であると、以下の状況が発生しやすい。

- ・要求品質の実現に成功した結果だけを残し、失敗した結果を残さない。
- ・品質生成メカニズムの把握まで踏み込まずに、要求品質を満たした時点でレシピ設計業務を完了させてしまう。
- ・経験の浅い担当者は何が要求品質実現の鍵かわからず、要求品質を実現していく上で労力を掛けても効果の低い業務に注力してしまう。

2.2. レシピ設計業務のモデル化の必要性

レシピを中心に考えると、現状の問題点の多くは、製造部門と研究開発部門の両者がレシピに内在する不確定要素を相互認識せずに運用していることに大きく起因していると考えられる。すなわち、対象レシピがどのような根拠に基づいて設計されたものか、そして設計上把握すべき項目の中で不確定情報は何かということが可視化されていないということである。もし可視化できれば、製造部門でも確定情報と不確定情報が明確になるとともに、両部門が協力して不確定情報を削減していく、すなわち組織による品質の作り込みが可能となる。そこで次章にて可視化する環境を構築するために、レシピ設計業務をモデル化する。

2.3. レシピ設計業務のモデル化

2.3.1. モデル化の前提

本研究では、ある特定の顧客から特定の品質を満足する製品の供給要求を受けて、新製品のレシピを設計し工業化する業務を対象とする。試作および製造設備に関しては、現在保有している設備を使用することを前提とし、必要があれば装置の改造や増強を実施するものとする。また、合成ルートや触媒探索等の研究は本稿のスコープ外とする。

モデル表記手法としてIDEF0を採用した。IDEF0は動詞句で表現されるアクティビティに対して、上から入力される制約条件及び指示に基づき、左から検討に必要な情報(Input)を入力し、下から検討に必要なツールもしくはシステムが与えられ、右へ検討結果(Output)を出力する。この表記方法により、各アクティビティに入力される情報の入手ルートが残るので、単に業務を実施した結果だけでなく、どのような情報に基づいて検討したかという根拠が残るようになる。そしてIDEF0の特徴は、与えられたジョブに対して何を決めなくてはならないのかという課題解決指向でモデルを構築する点にあり、本研究のテーマであるレシピ設計のような課題解決業務をモデル化するのに適していると考えられる。業務をモデル化するにあたり、レシピオリエンテッドなバッチコントロールに関する国際規格であるS88に則ってレシピ情報を決定する。次項にてこれらの情報を決定する業務プロセスモデルを提案する

2.3.2. IDEF0を用いた業務プロセスモデル

IDEF0にて全ての情報を記述すると、アクティビティ間を結ぶ線が多く錯綜してとても複雑な図になってしまうこと、そして本研究の目的が業務実施過程のモデル化であることから、本研究ではアクティビティとそれを結ぶInputおよびOutputの線のみを記した簡易的なモデル図にて表現することとする。図2.1に本研究で対象とする「A0:新製品を市場化する」アクティビティを展開した図の一例を示す。

この図は、顧客要求品質を満足する試作結果を得るマスターレシピが得られ、ある程度の変動に対して品質が確保できる管理情報が得られた時点で市場化が完結するとして、R&D後の開発のアクティビティを整理したものである。「A2:マスターレシピを設計する」の前工程として、原料選定や反応条件、物質/熱収支等レシピのベースとなる情報を出力する「A1:ゼネラルレシピを設計する」を設定し、さらに後工程としてマスターレシピの開発だけでは抑えきれない変動に対する柔軟性や必要な対応の検討を行う「A3:実行可能条件を探索する」を設計実務サブアクティビティとして設定している。マスターレシピができれば、製造を開始できると考えられるのだが、品質管理の点でもレシピの確信度の向上に対しても、単に1つの運転条件を求めるのではなく、変動を考慮したアクティビティを設定している。ここでは、市場化までの期間を評価するため、実行可能条件を探索するというアクティビティ表現になっているが、市場化後も変動に対する情報をフィードバックし、レシピの向上と開発力の向上を目指す活動を行うことを仮定している。図1では「A2:マスターレシピを設計する」に対して、レシピ開発で決定すべき課題の解決業務が展開されている。「A1:ゼネラルレシピを設計する」に対しても、同様に展開される。

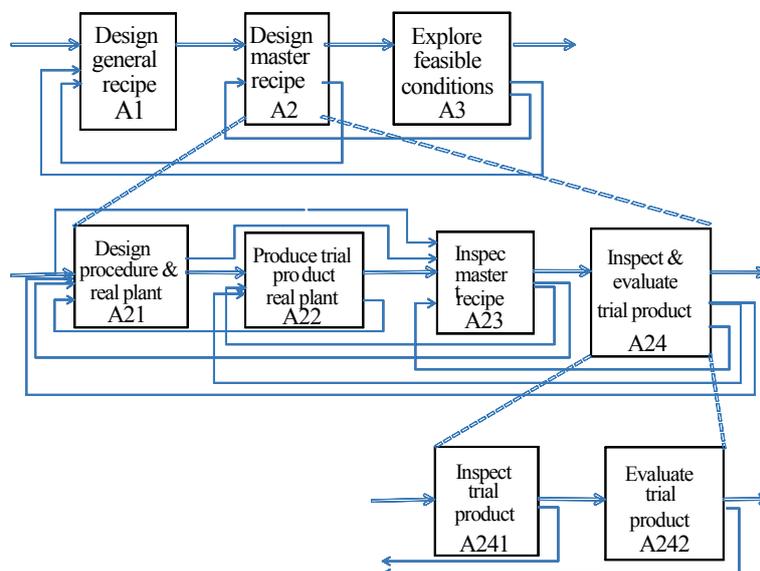


図2.1 「新製品を市場化する」のアクティビティモデル

2.3.3. 確信度モデル

図2.1からわかるように、現実の業務プロセスは多くの業務やり直しの流れを含んでいるが、この図だけからではどの時点で各アクティビティをやり直すべきかは明らかでない。そこで、本研究では各アクティビティに対してその出力の確からしさを定義し、その値により業務の実行を制御することを提案する。すなわち、各アクティビティで取り扱う情報の根拠の有無および業務手順／考え方の確からしさという観点から、対象アクティビティの出力に対してどの程度確信を持てるかという意味で「確信度」という指標を定義する。レシピ設計のような開発業務は、業務全体としての確信度を向上させるように取り進めていくべきであるということが本研究の基本的な考え方である。根拠を明確にすることにより、その場限りの検討ではなく、継続的に応用の利く組織的な技術力が培われていくことになる。また、開発部門は製造部門に対してレシピの確信度を提示するとともに根拠が不明確な内容を伝え、製造部門は開発部門に対して生産活動を通じて、実績ベースで根拠の裏付け情報をフィードバックし、両部門が協業して確信度を向上させるように努める。

各アクティビティの確信度は、そのアクティビティへの入力情報の確からしさと、本来そのアクティビティで実施すべき業務がどの程度実施されたかによって定まると考える。いくら業務に時間をかけても入力情報が不確かであればそのアクティビティの確信度の向上には限度がある。そこで、アクティビティ j を k 回繰り返して行った後の確信度 $Y_j(k)$ が、そのアクティビティへの入力情報に依存する部分 $U_j(k)$ と、自業務の遂行により向上する部分 $X_j(k)$ からなるとした。本研究では、単純に $Y_j(k)$ は $U_j(k)$ と $X_j(k)$ の線形和として(1)式で表されるとするが、より複雑な関係式を用いても良い。

$$Y_j(k) = \alpha_j \cdot U_j(k) + (1 - \alpha_j) \cdot X_j(k) \quad (1)$$

ここで、 α_j は確信度が入力情報と自業務のどちらに大きく影響されるかを定めるパラメータである。

入力情報に依存する部分 $U_j(k)$ は、アクティビティ j の k 回目の実行開始時におけるアクティビティ j への入力情報出力元アクティビティの確信度 $Y_i(*)$ により、(2)式で与えた。

$$U_j(k) = \min_{i \in R_j} Y_i(*) \quad (2)$$

ここで、 R_j は、アクティビティ j の入力流れとなる出力を有するアクティビティの集合である。

本研究では確信度が低いアクティビティからの入力が1つでもあれば、その入力全体の信頼性は下がると考え、最小値を用いることにしたが、平均値を用いるのも一案である。

自業務の遂行により向上する部分 $X_j(k)$ は、その業務の繰り返し回数 k の単調増加関数として、以下の様で与えた。

$$X_j(k) = X_j(k-1) + \beta_j \{1 - X_j(k-1)\} \quad (3)$$

ここで、 β_j は1回の自業務実行により X_j がどの程度向上するかを表す0から1の間の値をとるパラメータで、

業務の難しさや経験の豊富さといった業務の性格により決定される。

業務の性格の例としては、誰でもできる機械的な作業、慣れたルーチンワーク、過去に経験した作業、経験はあるが難度の高い作業、全く経験の無い作業等が挙げられる。

β_j が1に近ければ少ない回数の実行により X_j は1に近づく。

X_j の初期値 $X_j(0)$ は、過去の類似の商品の開発による学習効果を考慮し、次式で表す。

$$X_j(0) = \phi_j X_j^* + \gamma_j (1 - X_j^*) \quad (4)$$

ここで X_j^* は、前回の類似レシピ設計実施時における X_j の最終値である。

また、 ϕ_j は前回作成したレシピとの類似度を表すパラメータ、 γ_j は前回作成のレシピ以外で初期段階で得られている情報の程度を示すパラメータである。

2.3.4. 審査アクティビティ

レシピ全体の確信度が低い状態においても、要求仕様を満たす製品を生産できるレシピが構築できる可能性もある。この点を考慮し、確信度が低くても、審査を通過することもあることを確率で表現する。すなわち、審査を行うアクティビティ v については、その審査の厳しさを Y_v^* として、審査対象への入力確信度 U_v と Y_v^* の差に応じて審査結果が異なるものとする。不合格になる確率を Z とし、次式で表す。

$$Z = \begin{cases} 0 & (\text{if } U_v \geq Y_v^*) \\ (Y_v^* - U_v)^{\lambda_v} & (\text{if } U_v < Y_v^*) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、べき乗を示すパラメータ λ_v は審査の通過しやすさを調整するパラメータで、大きくすると合格しやすくなる。

審査期間 T_c を審査アクティビティのパラメータとして設定し、審査期間が終了し、上記の確率で合格になれば、審査によって審査

対象が変化することはないので、入力の確信度 U_i が、審査アクティビティの出力の確信度 Y_v として出力される。

不合格時には確信度は出力されず、やり直し指示を出力する。やり直し指示通知先のアクティビティを1つにするか複数にするかは、レシピ設計戦略に依存する。本報ではモデル中のパラメータとして選択可能とした。

2.3.5. アクティビティモデルの実行制御

開発業務は、やり直しや試行錯誤が存在し、ウォーターフォール型のプロジェクトとはならないので、市場化までのスピードアップの検討にはPERTやCPMのような期間算出方法は適用できない。また開発によっては、製造現場で新たな製造条件を探索するものやR&Dから順に積み上げるものもある。それゆえ開発に対する戦略を検討するには、モデルでのシミュレーションの検討が必要になる。そこで、戦略毎の確信度の変化や市場化までの期間を算出するシミュレーションを行うためのモデルを提案する。

各アクティビティがコンカレントに実行されるシミュレーションを行うため、入力情報が新たに揃ったら、あるいはやり直しの指示が通知されたら業務を開始できるものとした。ただし、同一アクティビティでは業務を開始したら、予め定めた時間業務は継続され、その間に到着したやり直し指示は、待機リストに蓄積される。そして、業務の実行が終了したとき、待機リストにやり直し指示があれば、入力情報を更新し再度業務を実行する。また待機リストにやり直し指示が蓄積されていない場合も、入力値がその業務を開始した時刻以降に変化していれば、業務を再度開始する。やり直し指示が蓄積されておらず、かつ入力も変化していない場合は、入力の変化もしくはやり直し指示があるまでそのアクティビティは実行せず待機する。

R & Dから順にアクティビティを実施する場合、すべてのアクティビティが出力をもたない状態を初期状態とする。R & Dからの入力情報が最初のアクティビティに入ると、そのアクティビティのみが開始され、業務が終了すると待機状態となる。そして、次のアクティビティが入力の変化を検知して業務を開始する。審査アクティビティでは、不合格の場合、複数のやり直し指示先の中で最低の確信度を出力しているアクティビティを一つ選択し、やり直し指示を一つ出す。その審査アクティビティは、入力に変化するまで待機状態となり、やり直し指示を受けたアクティビティが開始される。このようにすべてのアクティビティは、新たな入力もしくはやり直し指示を受けるまで待機状態になっている。アクティビティの出力が他の1つのアクティビティのみの入力もしくはやり直し指示であればシーケンシャルな挙動になる。

各アクティビティの初期値 $X_j(0)$ が与えられれば、 $U_j(0)$ を0として、各アクティビティの確信度の初期値 $Y_j(0)$ を求めることができる。最初からコンカレントに業務を進めるときには、各業務の確信度が、上記のようにすでに得られている状態を初期状態とする。そして、やり直し指示あるいは新たな評価結果を複数業務に対してフィードバックすれば、コンカレントに複数の業務が進行する開発を表現できる。

2.4. レシピ設計業務管理へのシステムティックアプローチ

確信度モデルを利用した業務計画意思決定支援

レシピ開発業務には迅速性が要求されるため、構成要素である1つ1つのアクティビティの不確定性を完全に無くしてから（確信度を1に近づけてから）次のアクティビティに移ることは得策ではない。一方、将来類似した製品の生産要求があることを考えると、できるだけ各アクティビティの確信度を大きくしておくことが、将来の生産要求への迅速な対応や組織の実力を向上させるために重要である。従来、どの程度の曖昧さを含んだ状態で次のアクティビティに移行するかは、業務を管理するエンジニアの経験により定められていた。これまでに生産経験のある製品と非常に類似した製品や、全く経験のない新規の製品の生産が要求されることを考えると、与えられた業務の特徴を捉え、それにふさわしい戦略で業務を遂行することが必要である。本章では、前章で提案した確信度モデルを利用し、業務完了までの時間が、与えられた業務の特徴と業務実行戦略によりどのように異なるかをシミュレーションにより求め、レシピ設計業務計画における業務実行戦略策定の指針を示す。

まず図2.1に示すようなアクティビティモデルを構築する。

このモデル中の各アクティビティは、確信度モデルの以下のパラメータ群を有する。

α_j : 入力情報依存度パラメータ[(1)式],

β_j : 業務実行による確信度の向上率を示すパラメータ[(3)式]

γ_j : 初期段階で得られている情報の程度を示すパラメータ[(4)式]

δ_j : 前回作成したレシピとの類似度を表すパラメータ[(4)式]

$X_j(0)$: 自業務の遂行により向上する確信度の初期値（最初に実行する製品のみ） [(4)式]

Y_v^* : 審査アクティビティの合格基準[(5)式]

α_v : 審査アクティビティの合格率調節パラメータ[(5)式]

T_j : アクティビティの実行時間

T_e : 審査アクティビティの実行時間

これらのパラメータの与え方により、様々な特徴を有する対象を表現できる。また、審査アクティビティの合格基準を変えることで、

様々な戦略を考えることが可能である。本研究でのシミュレーションプログラムは、マイクロソフト社のMS-EXCELにて作成した。

2.5. ケーススタディ

① 問題設定

この項では、図2.1に示したレシピ開発業務を対象に、提案したモデルに対していくつかのケースを想定した計算結果を示し、同じ戦略でも状況に応じてその有効性が異なることを示し、関係部門の担当者間で現状を共通認識するとともに改善対策の有効性も併せて検討することの必要性を示す。

- 開発対象のバリエーション： C_j , C_p , C_r , $X_j(0)$ の値により様々な開発対象の難しさのケースを設定した。
- 学習効果の有無： C_j の値により、直前に開発した製品の情報が利用できる場合 (C_j 大) と利用できない場合 (C_j 小) を設定した。また類似製品の開発により学習効果が継続的に働く開発回数を5回とし、5製品開発する毎に従来と全く異なる製品を開発する前提とした。
- 実行制御方式：実行順序の制御は、シーケンシャル (1つの審査アクティビティからのやり直し情報は確信度の最も小さいアクティビティのみに伝達) とコンカレント (1つの審査アクティビティからのやり直し情報は、そのアクティビティと接続されている全てのアクティビティに伝達) の2ケースを設定した。
- 実行時間：各実行アクティビティの所要時間 T_j の値により、標準の場合と長い場合を用意し、全ての業務が標準、上流業務が標準、下流業務が標準の3ケースを設定した。
- 審査閾値：審査アクティビティでの審査が厳しい場合 ($Y_v^*=0.9$) と甘い場合 ($Y_v^*=0.5$) の2通りを設定した。

② シミュレーション結果

開発対象の差異、学習効果の有無、実行制御方式、実行時間の長さ、審査の厳しさなど、それぞれの影響を基準のパターンから一つずつずらして感度解析を行うことが考えられるが、状況により戦略の有効性やそれぞれの条件の差異の影響が変化することが想定されるので、すべての変動の様々な組み合わせ180種類についてシミュレーションを行った。

各試行では、一様乱数にて評価業務での合格判定を行い、条件毎に10000回試行した結果において、最終審査で合格となるまでの期間 (開発期間) Term, 並列に行われる業務の時間も積算した総業務実行時間CostTotal, 終了時の最終審査からの出力の確信度 Y_{final} , 終了時のすべての実行業務の X_j の最小値MinXおよび最大値MaxX, すべての評価業務での不合格判定回数の総和SumIterNG, そして各業務の実行回数Iterの期待値を算出した。

シミュレーション結果の一例として、「審査の厳しさの影響」について以下に示す。

表2.1 各評価指標の平均値に対する審査の厳しさの影響

	Term	Cost Total	SumIter NG	Yfinal	MinX	MaxX
全ての審査を厳しくする	505	697	23	0.76	0.80	0.90
中間の審査のみ厳しくする	226	346	7	0.66	0.71	0.85
最下流審査のみ厳しくする	293	441	7	0.70	0.73	0.84

表2.1は各審査アクティビティにおける審査の厳しさの違いによる影響を示すものである。上流, 中間, 最下流すべての審査を厳しくするケース, 中間審査を緩くし上流アクティビティで確信度を向上させないまま下流に移行するケース, 現場での試作品が得られる段階の審査だけを厳しくして実作業しながら製造条件のばらつきの対応を検討して確信度を上げていくケースの3ケースの比較であり, 開発期間Termの平均値は, それぞれ505, 226, 293となった。

最下流審査のみ厳しくするケースでは, 最終の審査で確信度の低いアクティビティの見直しが発生するので, 上流までの大きなやり直しループが発生する恐れがある。ただし, 中間の審査が緩く上流でのやり直しが発生しにくいいため, 全体としてやり直し回数が少なくなり, 結果としてすべての審査を厳しくする場合と比べ開発期間の短縮につながっていると考えられる。審査が厳しくすると通過する出力の確信度は高くなるがやり直しが増えるので, 一般的にすべての審査を厳しくすることは有効でないということが確認できる。

表2.2は, 180種類のシミュレーションパターンの中から, 中間の審査を緩くして早く下流に進めることが, すべての審査を厳しくすることよりも長い開発期間となる例を抜き出したものである。この例に示すように, 同じ戦略でもその効果は状況により大きく変化し, その感度の違いの予測は容易ではなく, シミュレーションにより検討することの有効性が理解できる。

2.6. レシピ設計マネジメントのまとめ

このシミュレーションは, 数値的な厳密性を問題にするものではなく, 開発に関わるスタッフが状況認識を共有化するためのツールであり, その数値は, 共有化をはかるものの中で認識をシェアするための指標である。この確信度という指標を利用して設計課題毎の現状

レベルを共通に評価する作業が、組織間のインターフェイスの向上につながり、各課題に対する対策の共通認識も進むと期待できる。

開発という揺り戻しが発生する可能性の高い業務において、ひとつの業務の改善を単独で、議論しても、周辺の業務の状況によって、トータルの評価への大きな寄与が認められる場合とそうでない場合が発生し、その業務の改善が他の業務の改善に影響するというようにダイナミックな検討が必要であるので、シミュレーションという手法を導入した。各業務の改善の関わりを見える化し、限られた投資をどこに重点的に行うかという検討に際して、複数の担当者の合意形成を得るためのツールとしても利用できる。

従来のプロジェクトマネジメントの手法は、対象ジョブをいかに早く確実に完了させるかという観点であるのに対し、本提案の手法は今回の設計だけでなく、今回の経験を次回以降の設計にも活用できるように根拠のあるレシピにブラッシュアップしていくことを主眼に置いている。そのため、組織力を向上させるツールにもなると考えられる。

数値化、数式化にはまだまだ議論の余地が多いが、組織力の向上を共通のモデルで論じるアプローチの検討が産学で進むことを期待している。

表2.2. 業務の難易度による審査の厳しさを変更する効果の差異

開発対象	学習効果	実行順	実行時間	閾値	Term	Cost Total	SumIter NG
難易度は中程度	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	全ての審査を厳しくする	363	363	7
難易度は中程度	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	中間の審査のみ厳しくする	277	277	2
難易度は中程度	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	最下流審査のみ厳しくする	369	369	2
難易度が高くやり直し効果も高い	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	全ての審査を厳しくする	251	251	4
難易度が高くやり直し効果も高い	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	中間の審査のみ厳しくする	240	240	2
難易度が高くやり直し効果も高い	有り	シーケンシャル	上流業務が標準	最下流審査のみ厳しくする	318	318	2

3. サイバーテロを想定した場合のリスク解析と対策の構築 [豊島ら2011より抜粋]

2010年6月に、stuxnet（スタクスネット）という産業用計装機器をターゲットにしたウィルスが発見され、産業システムのセキュリティに関して想定されていたリスクとは異なる危機が存在することが話題になっている(CSIRT, 2010)。今回のウィルスは、特定の機器を対象にしたもので、モーター回転を制御し、性能を発揮しないように意図したものであったようだが、ウィルスにより様々な攻撃が可能であることを示している。インターネットから独立しているシステムでも、エンジニアリング・ワークステーション等を通じて、感染してしまう危険性は、想定されていたものの実際に産業機器への感染が報告され、危機が間近に迫りうることを感じさせる。

また、2010年12月28日午前5時に発生した瞬低（発電所の開閉器トラブルによる70ms間の電圧50%程度の低下）では、石油プラント、半導体工場などが復旧に1週間以上かかる操業停止状態になるなど、周辺への大きな影響があった。サイバーテロとしては、火災や装置破壊、毒物流失などの攻撃だけでなく、短時間の操業停止あるいは操業能力低下も攻撃対象になりうるということがわかる。

計装システムへの侵入を想定した場合、オペレータ同様にプラントの起動・停止も行えるので、サイバーテロの自由にされて、防御のしようがないのであろうか。プラント計装は24時間稼働しつづけるので、事務用パソコンのようにセキュリティパッチを頻繁に適用することは難しいという特性もあり、情報系だけの問題とせず、プラント設計、プラント運転全体の問題として検討する必要があると考えられる。

従来から、プラントの安全性は、プラント設計から計装、周辺との連携まで、独立防御層という観点で、多重の対策が取られている。サイバーテロに対する安全性確保を、まず、独立防御層の観点で検討する。

3.1. サイバーテロに対する独立防御層

第1層 プロセス設計

発電規模の大型化は効率向上に有効だが、停止時のリスクを考慮すると小規模の方が好ましい。

第2層 基本プロセス制御システム（以下ではBPCSと称す）

サイバーテロの介入を防ぐファイアーウォールや専用回線の使用など情報システムのセキュリティ強化対策は、情報システム自体で多重の対策が取られるが、ここでは、プラント側の対策を検討することにする。

サイバーテロの攻撃は、本来意図していない操作を引き起こすという点では、誤操作と共通であり、数値の改ざんはセンサ故障と同様とみなせる面があるので、フル・プルーフやフェール・セーフの考え方が適用できる。サイバーテロの場合、攻撃を確実にするために、多重に改ざんや操作を発生させると考えられるので、故障や誤操作を想定した信頼性向上策が、そのまま有効になるとは限らないが、対策の検討方法は、共通と考えられる。

誤操作防止のため、2つの離れたボタンを押さなければ稼働しない重要スイッチが用いられるように、頻度の低い重要操作については、現場での確認入力がないと、遠隔だけでは操作できないメカニズムを導入し、システム侵入による操作を妨害することが考えられる。

また、多くのセンサの関連をチェックし、一部データの改ざんは検出できるアルゴリズムを適用することも考えられる。

スマートセンサーで、スパンや各設定をネットワーク経由で取得・設定できることは利便性や管理精度の向上につながるが、セン

サのスパンや設定は現場に行かないと設定できない状態にし、現場での操作盤と装置の通信をアナログ信号にすると、現場での機能は保持され、セキュリティが向上する可能性がある。

2out of 3などの冗長化も、改ざんを想定した場合、センサ値は同時に書き換えられてしまうし、コントローラを多重化しても同じものでは同時に侵されてしまうかもしれないので、信頼性向上につながらない。そのため、冗長化においても、異なるコントローラにして、侵される可能性を低下させることが必要かもしれない。

第3層 BPCS が発する警報と区別された「重要警報」

サイバートロは、実際に停止する操作をしなくても、アラームを誤発報させることで、運転員に停止操作を引き起こすことで、目的は達成できる。運転員のアラーム対応において、アラームが改ざんでされたものではないかというチェックを手順に含むことが望まれる。

BPCSや上位からの情報が利用できないときにも、運転継続を可能にするBPCSとは独立の制御システムの構築が望まれる。電力需給の調整機能を果たす発電所の運転を、外部情報システムから隔離された状態で継続できる構造を独自のセンサを配置し実現する。

第4層 緊急停止システム

機器破壊や事故を防ぐ安全確保のためのBPCSとは独立したシステムで、リレー回路で実現するものもあるが、PLCなどエンジニアリング・ワークステーションが関係するシステムで構築する場合、stuxnetのような攻撃を受ける可能性がある。緊急遮断システムは、安全確保のためのもので、危険がないことを確認できない状態で、このシステムの起動を妨げることはできない。このシステムがサイバートロにより攻撃されると、停止してしまうことを回避することは難しい。独立したシステムがstuxnetのようなウィルスの攻撃をうけないためには、エンジニアリング・ワークステーションを運用する人間がどれだけ厳密に管理業務を遂行するかというヒューマンファクタも関係する。

第5層 急激な弁操作による圧力波に対する圧力調整槽などの安全装置

第6層 配水管破損が生じたときにも、下流に溢流しないような下部貯水池のダム機能

第7層 停電、配水管破損などの発電所内緊急時対応計画

第8層 停電、下流への放水などに対する地域防災計画 地域住民・公共設備における緊急時対応計画

3.2. サイバートロに対する信頼性向上策

重要機器の不調が予想されると、図3.1のようにバックアップの装置を用意し、切り替えるという対策が取られる。

サイバートロによる計装システムの不調を想定すると、切り替えても機能できないことが考えられる。多重化による信頼性向上では、システムへの侵入やStuxnetのような対象を探しながら攻撃を加えるウィルスを想定すると、計装システムを多重化することになる。図3.2のように、コントローラ(SCADAシステム)とセンサやアクチュエータをともに多重化することにより、基本の計装システムが攻撃されても切り替えれば、バックアップのシステムで運転を継続できる可能性が出てくる。

センサやアクチュエータを多重化することが難しい場合には、センサやアクチュエータ自体に侵入できないように、計装システムとネットワークで接続するのではなく、アナログの伝送を通じて接続すると、コントローラの多重化も考えられる。

3.3. サイバートロのリスク解析

サイバートロによる攻撃も機能不全を発生するという点では、従来の故障や誤操作の解析と変わらない。そのため、FMEAで機能不全を解析し、その原因にサイバートロによる攻撃を想定することになる。

破壊工作は、対象にするプラントにより異なるので、ここでは、揚水発電所を例にとりあげ、リスクの解析、対策の立案、その有効性を検討してみる。今後、太陽電池、風力発電など、天候などで大きく変動する電力源が増加すると考えられるが、電力の安定供給のためには、火力や水力による電力調整が必要になる。その発電所が調整機能を果たせなくなると、停電が発生し、社会的に大きな被害が発生すると考えられるので、電力調整に利用される可変速揚水発電所では、一時停止することも、攻撃の形態であると想定することにする。

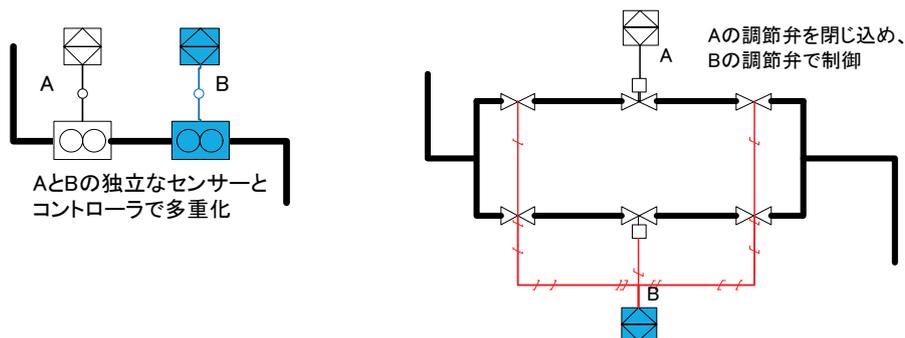


図3.1. 二重化による信頼性の向上策

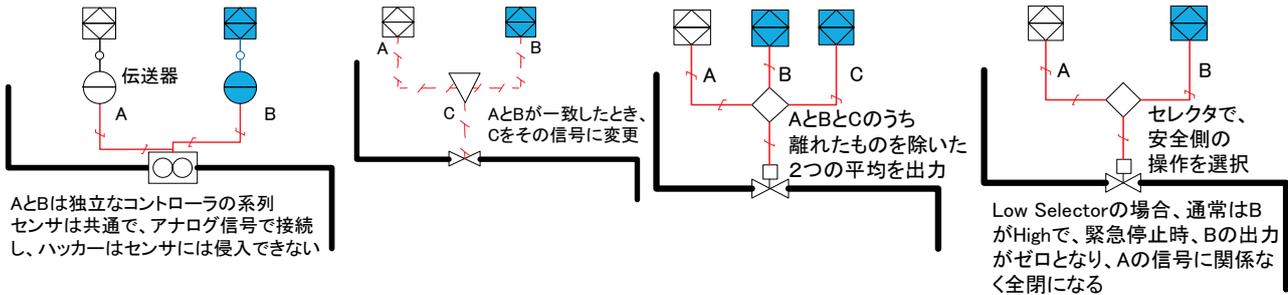


図3.2 計装システムの二重化

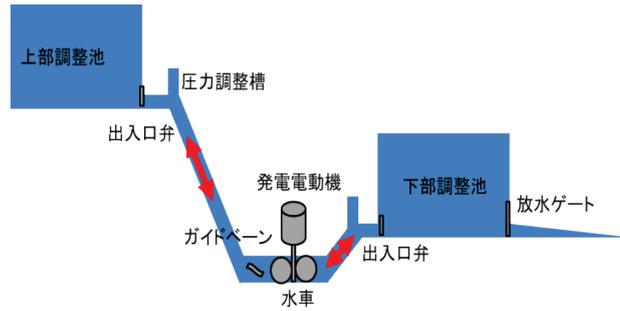


図3.3 可変速揚水発電システム

今回対象としたシステムは、正常運転が電力需要の調整を行うために、非常操作となる。昼間は発電により電力供給量を調整し、夜間は揚水により電力消費量を調整する。電力需要によって、休止することも求められ、定常状態を維持する管理と異なるため、外部との通信が必要であると考えられる。

正常運転では、稼働、停止の計画と、電力の過不足を電流の位相の変化でとらえて出力調整する周波数制御機能が稼働している。発電と揚水は、同じ水車を逆回転することで実現され、揚水の電力消費は回転速度変化で調整され、発電時はガイドベーンによる水量調整機能も利用して発電量が調整される。

まず、表3.1のように、揚水発電所の機能を整理し、その機能不全の原因と影響を整理した。

表3.1. 揚水発電システムのFMEA

システム機能要素	要素部品	故障モード	原因	影響	故障モード検出時対策	サイバーテロ防止対策	
送出側調整池	池	水不足	濁水/異常放水/揚水トラブル	発電・揚水停止	発電・揚水停止		
		水位計誤信号	機器故障/サイバーテロ	機器破損/発電・揚水停止	別セグで運転/停止	セグ多重化・制御系統多重化	
		水位計停止	機器故障/サイバーテロ	発電・揚水停止	別セグで運転/停止	セグ多重化・制御系統多重化	
出口弁	出口弁	誤操作	ヒューマンエラー/サイバーテロ	機器破損/発電・揚水停止	復帰操作	操作指示多重化	
		開かない	機器故障/サイバーテロ	発電・揚水停止	発電・揚水停止		
		閉じない	機器故障/サイバーテロ	発電・揚水停止	発電・揚水停止		
放水ゲート	放水ゲート	誤操作	ヒューマンエラー/サイバーテロ	下流事故	復帰操作/発電・揚水停止	操作指示多重化	
		開かない	機器故障/サイバーテロ	下流事故	発電・揚水停止		
		閉じない	機器故障/サイバーテロ	下流事故	発電・揚水停止		
受入側調整池	池	同上	同上	同上	同上	同上	
		入口弁	同上	同上	同上	同上	
		放水ゲート	同上	同上	同上	同上	
発電電動システム	通路路	配管不良	腐食/摩耗/工事トラブル	配管破裂/下流事故/発電・揚水停止	通水量制限		
		水漏れ	機器故障	機器故障/下流事故/発電・揚水停止	発電・揚水停止		
		回転不良	機器故障	機器故障/発電・揚水停止	発電・揚水停止		
		発電電動機	停止/回転速度超過	機器故障/電源・制御故障	機器故障/発電・揚水停止	発電・揚水停止	制御系統多重化
		電流制御回路	停止/回転速度超過	機器故障/サイバーテロ	機器故障/発電・揚水停止	別系統で運転/停止	制御系統多重化
		ガイドベーン制御回路	流量制御不良	機器故障/サイバーテロ	電力調整不可	別系統で運転/停止	制御系統多重化
		発電・揚水指示伝達	通信不良	機器故障/サイバーテロ	電力調整不可	別系統で運転/停止	制御系統多重化
送受電システム	変電機 送電系	遮断	機器故障/サイバーテロ	機器故障/発電・揚水停止	復帰操作/発電・揚水停止		
		遮断	機器故障/サイバーテロ	機器故障/発電・揚水停止	復帰操作/発電・揚水停止		

サイバーテロが直接操作することによる事故発生を防ぐためには、重要で操作頻度の低い放水ゲートや出入口弁などは、計装システムからの信号だけで動作しないように多重化することを考える。

直接操作するだけでなく、実際には停止が不要でも、情報を改ざんし、偽のアラームを発報させたりして、運転員に誤判断させることで、運転員に停止操作をさせることも考えられる。そのような情報操作で停止してしまうことを防ぐには、運転員が判断や操作のよ

りどころにする情報を、通常の計装システム以外にも用意し、その確認を手順のなかに取り入れるように、トラブル時の手順を整理しておくという対応が考えられる。

サイバーテロの攻撃に対するこのような対策の有効性は、サイバーテロが成功する確率がどれだけ低下するかという観点で、図3.5のようなフォールトツリーを作成し評価することが考えられる。FTAは、通常事故の発生をトップ事象に選択し、その原因になる機器故障や誤操作で展開するが、危機が故障しているかのようにサイバーテロがだましに来るという想定は、さまざまな機器で想定する必要があり、今回は、サイバーテロがだますとしたらという展開の中で、機器の関係が現れるように整理した。アクチュエータの操作やセンサ値の改ざんが成功する確率は、情報システムの構築の仕方でも変化する。情報システムのセキュリティ強化だけでなく、プラント計装の多重化やサイバーテロによる変化の可能性を考慮した運転手順の整理により、サイバーテロのリスクがどれだけ低減できるか評価できる。

3.4. サイバーセキュリティのまとめ

プラントのセキュリティを、情報システムだけの問題でなく、プラント設計から周辺住民との連携までの、独立防壁層での安全確保の中で検討することを試みた。インターネットにより、大規模な連携をはかり、より効率的に運用することが求められ、情報化は、今後も急速に進展すると考えられる。計器も自己診断機能なども備えたスマート化がはかられ、情報システムと接続が前提になっていくであろう。そのような環境が進む中で、セキュリティを確保するには、多重の対策が必要であり、それは、情報システムにとどまらず、プラントも含めた総合的な取り組みが必要である。ここで紹介したのは、こんな観点での議論もセキュリティ対策として考えられるのではという提案であり、今後、多くの部署が参加し、様々な観点で、セキュリティの議論が進むことを期待している。

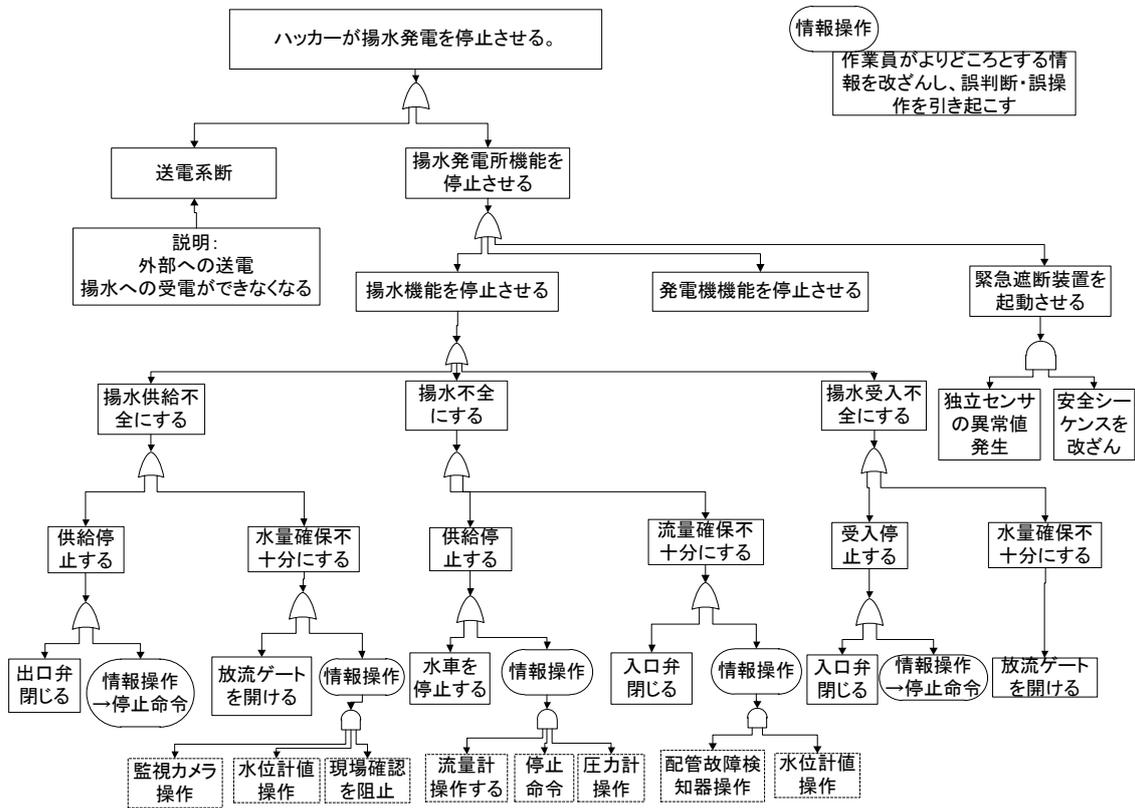


図3.4. ハッカー攻撃の解析

参考文献

太田豊, 橋本芳宏, ハイブリッド自動車用ニッケル水素電池の電圧ヒステリシス・緩和のモデリング, 電気学会論文誌B 129.1 118-124 (2009)

Toshiaki Itoh, Yoshihiro Hashimoto, Hiroya Seki, Morimasa Ogawa, Norihito Doki and Noriaki Kubota, Simulation of Seeded Batch Cooling Crystallization, Proceedings of 15th International Symposium on Industrial Crystallization, 3,1407 (2002)

佐原 勇輝, 異方性を考慮した高分子フィルム延伸のシミュレーション, 名古屋工業大学社会工学専攻修士論文(2011)

山崎美希, 延伸プロセスにおける設計問題, 名古屋工業大学社会工学専攻修士論文(2011)

河野浩司, 橋本芳宏, 渕野哲郎, 長谷部伸治, レビ設計プロジェクト推進能力向上のためのシミュレーションベーストマネジメント, 国際P2M学会2011年 春季大会予稿集

T. Fuchino, T. Kitajima, Y. Shimada, K. Takeda, T. Hamaguchi, R. Batres, A. Yamada, K. Kawano, Y. Hashimoto, Recipe Infomatics to Shorten the

Lead Time from Product Development in Batch Processes, Proceedings of 16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process Systems Engineering, Elsevier, pp.2225-2230 (2006)

豊島剛史, 孫晶, 越島一郎, 橋本 芳宏, サイバーテロを想定した場合のリスク解析と対策の構築, ヒューマンファクターズ, 4-7(2011)

Takashi HAMAGUCHI, Yoshihiro HASHIMOTO, Toshiaki ITOH, Akihiko YONEYA, Yoshitaka TOGARI, Abnormal Situation Correction Based on Controller Configuration, Journal of Process Control, 35, 12, 1282-1289 (2002)

高機能フィルムの展望と戦略 矢野経済研究所(2009)

CSIRT, マルウェアStuxnetについて <http://www.nca.gr.jp/2010/stuxnet/index.html>(2010)

ANSI/ISA-S88.01;"Batch Control, Part1; Models and Terminology", pp27-43, ISA, 1995

