

システム設計でのモデルを活用した設計すり合わせ技術

大森康宏*
Yasuhiro Omori
外山正勝*
Masakatsu Toyama
岡田正純*
Masazumi Okada

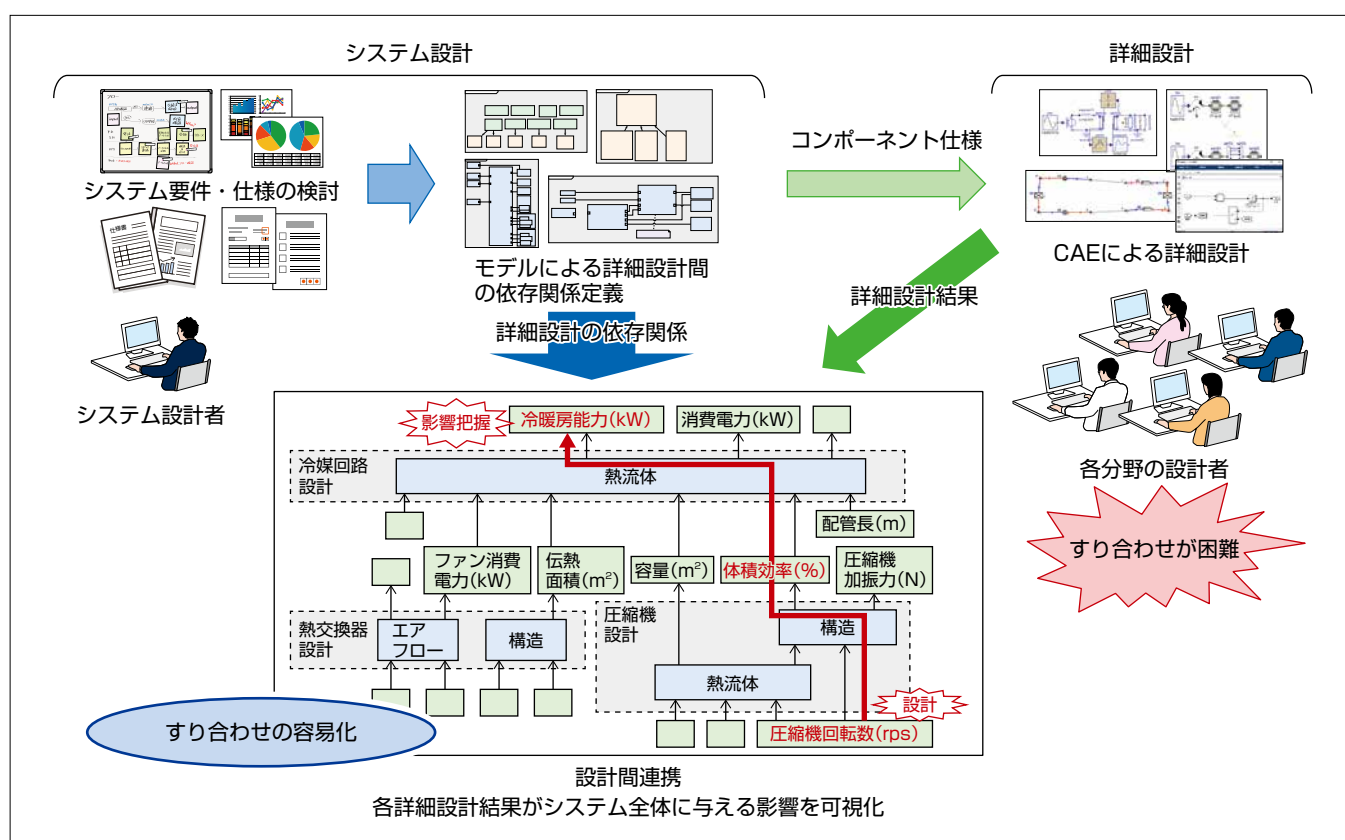
Model Based Design Adjustment Technique for System Design

要 旨

製品開発の上流に当たるシステム設計では、システムの実現に必要な機能・非機能の要件を検討し、システムを構成するコンポーネントの仕様を定義する。定義した仕様に従って、各コンポーネントに対して、機械、構造、電気、電子、ソフトウェアなどの各詳細設計を進める。各詳細設計は並行して進められ、仕様を満たすためにそれぞれの詳細な設計内容のすり合わせが行われる。すり合わせを行う相手や内容は、設計者間の暗黙知になっていることが多い。一方で製品は複雑化しており、各設計がシステム全体に与える影響を把握することが難しく、システム要件実現の困難さが増している。そのため、設計者の暗黙知に頼らず、開発の中で広く各設計結果がシステム全体に与える影

響を把握しながら開発を進める仕組みが必要になる。

そのための手段として、システム設計をモデル化することでシステム全体を俯瞰(ふかん)しながら開発を進めるMBSE(Model Based Systems Engineering)を用いて、設計間連携する技術を開発している。設計間連携技術では、MBSEで使用するシステムモデルで、詳細設計間の依存関係を抽出できるようにモデルを構築することによって、詳細設計で使用する1D/3D-CAEモデルでの設計結果とシステムモデルが連携できる仕組みを提供する。この仕組みで、各詳細設計の結果がシステム全体に与える影響の見極めが容易化でき、開発者はシステム要件の実現可否を確認しながら設計を進めることができる。



モデルを活用した設計すり合わせ容易化の仕組み

設計間のすり合わせを容易化するため、システム設計情報をデータベース化するシステムモデルの構築方式と、詳細設計を行うための1D/3D-CAEのモデルとシステムモデルの連携方式によって、設計結果の影響を定量的に見積もることを可能にする。

1. ま え が き

大規模・複雑なシステムを開発するための体系的な手法としてシステムズエンジニアリングがある。システムに対する目的・背景から要求を明確化し複数の専門分野を統合しながら設計を進める開発手法になる⁽¹⁾。このシステムズエンジニアリングを、モデルを活用して実施するMBSEがある⁽²⁾。

MBSEでのシステム・機器の開発でも、システムの要件を実現するために、詳細設計ですり合わせを行うことが必要になる。すり合わせは、1D/3D-CAEモデルやノウハウをExcel^(注1)上で形式知化した計算式などを活用した詳細設計の結果を用いて行うケースが多い。

本稿では、システム設計でのすり合わせを容易化することを目的として、MBSEによるシステムモデルを構築する際に、機械、構造、電気、電子、ソフトウェアなどの分野の異なる設計間の依存関係を規定するモデリング方式と、各設計で使用する1D/3D-CAEモデルの詳細設計結果とシステムモデルを連携する方式を定義し、定義した方式によって各設計結果がシステム全体に与える影響分析が可能になることの実現性を確認した結果について述べる。

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。

2. 方式設計

2.1 方式概要

システムズエンジニアリングは、設計対象のシステムのライフサイクル全般(開発・製造・運搬・設置・運用・保守・廃棄など)を見渡して、周辺のシステム・ステークホルダー・環境条件などとの相互作用から役割を明確化し、対象システムの詳細な設計を進めていく手法である⁽²⁾。これによって、システムが実現すべき役割の検討漏れが少なくなり、後工程からの手戻りを低減することが可能になる。

システムズエンジニアリングの実施では、扱う情報量が膨大になるため、設計はドキュメント形式で人手による管理を進めるのではなく、デジタルデータとして管理できる形式で実施し、必要な情報の検索や整合性を計算機で実施できるよう、設計情報をデータベース化する。このシステム設計情報のデータベースがMBSEでのシステムモデルであり、データベースから設計を進めるために必要な情報を抽出し、設計判断に必要な形式を生成することで、効率的・効果的に開発を進めることがMBSEになる⁽²⁾。

システムモデルは、SysML^{(3)(注2)}などの記法による各

種ダイアグラム(ブロック定義図、要求図、パラメトリック図等)をMBSEツール上で活用し、設計情報の間に関連性を持たせることで作成できる(図1)。

開発の中で使用するモデルとしてはシステムモデルのほかにも、詳細設計で使用する1D/3D-CAEによる詳細設計モデルがある。このモデルは設計分野(機械、構造、電気、電子、ソフトウェアなど)ごとに最適化を行うためのシミュレーションモデルであり、詳細設計のモデルを使った設計結果をすり合わせることで、システム要件を実現する仕様を導出する。詳細設計間のすり合わせでは、他の設計に影響を与える依存関係のある設計要素の調整を行うが、各設計者の暗黙知に基づくため、時間がかかることや、検討漏れが発生する。

そのため、システム全体設計の情報が保持されているシステムモデルから詳細設計間の依存関係を抽出し、詳細設計モデルの結果を連携させる仕組みを構築する。これによって、図2に示すように、詳細設計の結果がシステム全体に与える影響が可視化され、すり合わせが容易になる。

この仕組みを実現するために、設計間の依存関係を規定できるシステムモデル構築方式と、システムモデルから依存関係を抽出する方式、依存関係の情報を詳細設計モデルに渡すことでその影響を計算する連携方式を定義する。

(注2) SysMLは、Object Management Group, Inc.の登録商標である。

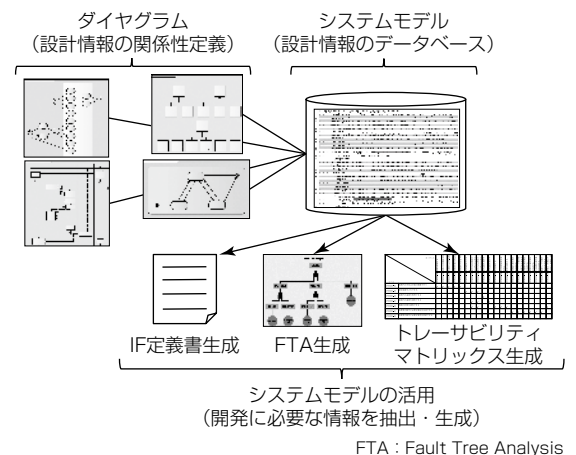


図1. MBSEでのシステムモデルとその活用⁽²⁾

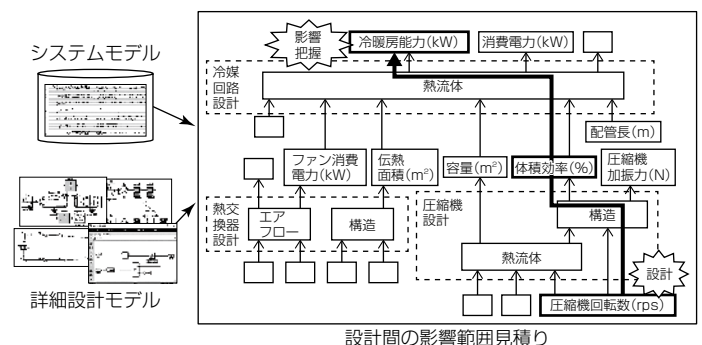


図2. システムモデルを活用したすり合わせ容易化方式の概要

2.2 システムモデルの定義

各設計分野での設計要素(制御周期、部品定格、消費電力など)の中には、他の設計に対して影響を与えるものがある。例えば空調機器では、消費電力低減のためにファン回転数を下げるように制御周期を変更した際の放熱性の変化によって冷媒回路の設計での冷暖房能力の性能値にも変化が生じるという影響事象の伝播(でんぱ)が考えられる。

このような、設計間をまたいだ影響の伝播をシステムモデルから抽出できるようにするため、2.1節で述べたダイアグラムを使用して設計情報の関係性を定義する。

この方式では、各種設計の設計要素と目標性能の依存関係をSysMLのブロック定義図とパラメトリック図を用いて定義する。またシステム要件になる性能目標はSysMLの要求図で定義する。要求図、ブロック定義図、パラメトリック図の関連性について、空調機器を想定した例を図3に示す。本稿では、MBSEツールはSparx Systems社のEnterprise Architectを使用した。

2.3 システムモデルの解析

2.2節で示したシステムモデルは、SysMLのダイアグラムとして表現されているが、2.1節で述べたとおり、実体としては設計情報のデータベースになる。図3で示したダイアグラムは、SysMLなどの記法を使って作成され、かつ必要な情報が複数のダイアグラムに分散されている。ダイアグラムの状態で開発に活用しようとした場合、開発者全員が記法に習熟してダイアグラムを齟齬(そご)なく理解できることが前提になって、その上で必要な情報を多数のダイアグラムから探し出すことになる。そのため、ダイアグラムの状態では開発の中で広く関係者が活用することが難しくなる。

多くのMBSEツールでは、ダイアグラム上で定義さ

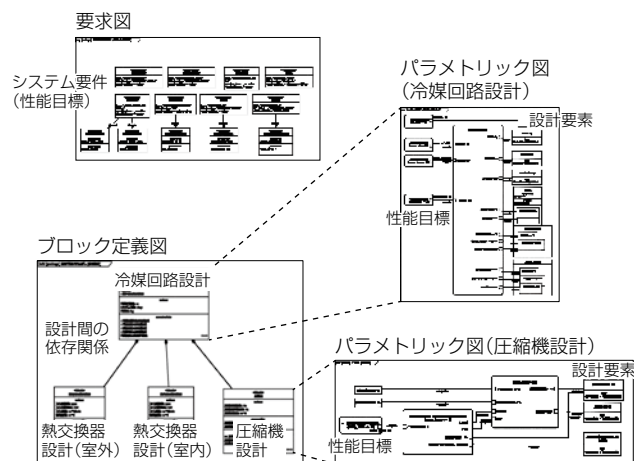


図3. システムモデルの定義方式

れる各要素の詳細や、関連する要素との関係の情報は、XML(eXtensible Markup Language)の形式で保持されている。このXMLで表現されたダイアグラムの内容から必要な情報を取り出す仕組みを構築することで、開発の中で広くシステムモデルを活用することが可能になる。

ここで、XMLから必要な情報を抽出可能にするには、複数のダイアグラム間で定義される情報同士に、関連性を定義することが必要になる。空調機器の例で考えると、情報同士に関連性が定義されていない場合、要求図で定義した目標になる冷房能力が、パラメトリック図上で定義した冷媒回路設計の性能の目標値になることを、計算機上で辿(たど)ることができない。計算機上で辿れるようなシステムモデルの要件として、ダイアグラムの中で情報の関連性を付けることが必須になる。

図4では、図3で示したダイアグラムの情報間に関連性を定義し、それをXML上で見て情報の関係性が辿れることを示している。要求図で定義した性能目標はパラメトリック図の性能目標として使われ、パラメトリック図では各設計要素と性能目標が関連付いている。また、あるパラメトリック図で示した性能目標が、別のパラメトリック図では設計要素として関連付いている。この関係はXMLの構造で見ると、各情報には一意にIDが設定され、また関連する情報のIDが定義されている。そのため、IDを参照して関連する情報をたどることが可能であり、ある設計の設計要素が、別の設計の性能目標に関連していることを抽出できる。このように、ダイアグラムの情報間に関連性を付けることで、XMLの構造から計算機の処理として所望の情報を抽出することが可能になる。

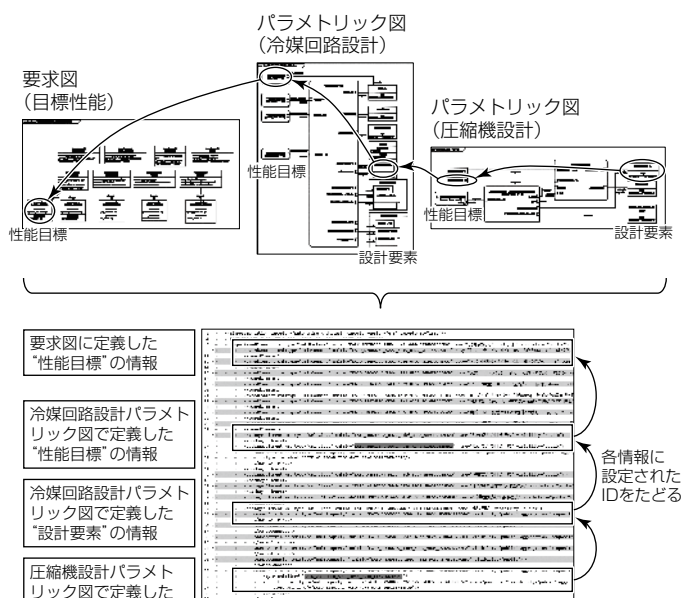


図4. システムモデルの解析

2.4 詳細設計モデルとの連携方式

2.3節で示した方式によって、設計の影響範囲はシステムモデルからとることが可能になる。一方で、影響を定量的に見積もるためには、詳細設計のシミュレーションモデルとの連携が必要になる。

詳細設計のシミュレーションモデルとの連携方式としては、MBSEツールとシミュレーションツールを連携させる方式⁽⁴⁾、詳細設計用のモデル実行結果を近似式化し設計値を近似式に与えて結果をシステムモデルに返す方式の二つがある。

本稿では後者の方式で連携方式を定義した。この方式は、近似式を作るための手間が大きく、またシミュレーションツールとの連携する方式よりも精度は低くなる。しかし、当社製品は多岐にわたり、事業ドメインごとで使用するシミュレーションのツールが異なることや、独自の社内ツール・Excel計算式なども多く活用されていることから、様々なツールと連携しやすいこの方式にした。この方式によるシステムモデルと詳細設計モデルの連携方式を図5に示す。

図4で示したように、システムモデルのXMLから、設計要素と設計要素に関連する性能値を抽出する。その際、設計要素と性能値の関係の近似式から、設計要素の値が決まった際の性能値の定量的な影響を算出する。影響を算出した性能値が他の設計の設計要素になっている場合、XMLから更に影響のある性能値を抽出し、近似式から影響の大きさを算出する。これを繰り返すことで、ある設計要素の値が決まった際に、伝播する影響範囲と大きさを表すことが可能になる。

この方式が実際の開発の中で広く活用されるためには、システムモデルから抽出された情報を各設計担当者が把握しやすい形式にする必要がある。形式の検討に当たっては、

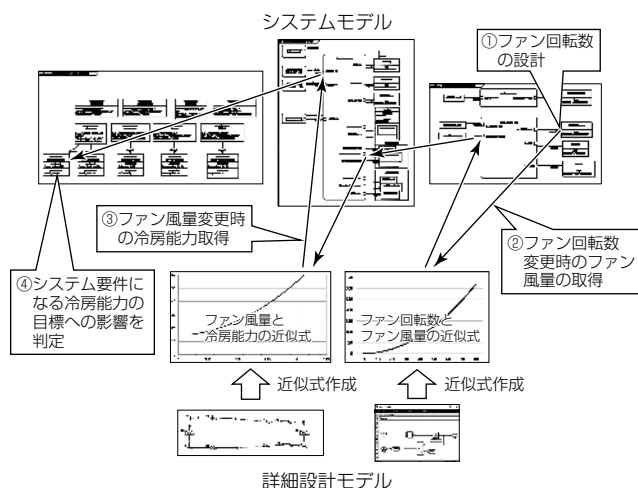


図5. システムモデルと詳細設計モデルの連携方式

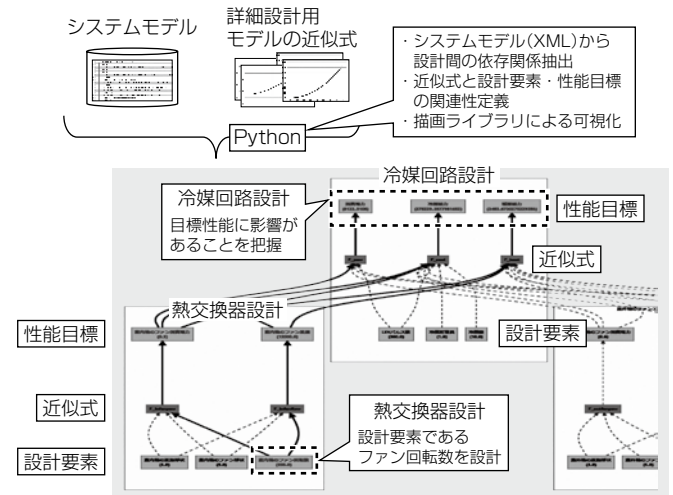


図6. 試作した設計間の影響分析

特別な記法を理解せずに使用できること、システム全体の設計の関係性が俯瞰できること、変更点の影響範囲が分かりやすいことを目的にした。

この目的を満たせるよう、この方式の試作をXMLの解析と描画ライブラリがそろっているPython^(注3)を用いて作成した。試作の結果を図6に示す。各設計の結果をGUI (Graphical User Interface)操作で設計要素に入力することで、全体設計への影響範囲が強調した線で示され、かつ影響の大きさを定量的に示せることを確認した。

この試作は、設計結果の影響を自然言語とブロック線図によって直感的に理解できる形式になっており、開発関係者全体が各自の設計内容の影響を把握でき、システム設計のすり合わせが容易に実施可能になると考える。

(注3) Pythonは、Python Software Foundationの登録商標である。

3. む す び

設計間の関係性を定義したシステムモデルと詳細設計モデルを連携することで、設計分野をまたいだ影響分析を開発関係者が誰でも容易に実施できる方式を設計し、試作によって開発で活用可能な見込みを確認した。

今後は実際の開発で、設計分野間のすり合わせに課題がある事例にこの方式を適用し、開発を効率化できることを示していく。

参 考 文 献

- (1) INCOSE Systems Engineering Handbook, A Guide for System Life Cycle Process and Activities 4th Edition, International Council on Systems Engineering (2015)
- (2) 石橋金徳：Model-Basedシステムズエンジニアリング(MBSE)を取り巻く「誤解」と開発現場の「期待」について、Ansys Executive Forum (2021)
- (3) 西村秀和：システムズモデリング言語SysML、東京電機大学出版局 (2012)
- (4) サイバネットシステム(株)：MBSEから始まるMBD-CAEソリューション、人とくるまのテクノロジー展 (2019)