

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6334606号
(P6334606)

(45) 発行日 平成30年5月30日(2018.5.30)

(24) 登録日 平成30年5月11日(2018.5.11)

(51) Int.Cl.	F I	
G06F 17/50 (2006.01)	G06F 17/50	630
	G06F 17/50	602B
	G06F 17/50	604G
	G06F 17/50	612A
	G06F 17/50	662G
請求項の数 16 外国語出願 (全 43 頁)		

(21) 出願番号	特願2016-112163 (P2016-112163)	(73) 特許権者	505384841
(22) 出願日	平成28年6月3日(2016.6.3)		ザ マスワークス, インク
(65) 公開番号	特開2017-10540 (P2017-10540A)		THE MATHWORKS, INC.
(43) 公開日	平成29年1月12日(2017.1.12)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
審査請求日	平成28年10月4日(2016.10.4)		1760 ナティック アップル ヒル
(31) 優先権主張番号	62/171,082		ドライブ 3
(32) 優先日	平成27年6月4日(2015.6.4)		3 Apple Hill Drive,
(33) 優先権主張国	米国 (US)		Natick, MA01760 (U
(31) 優先権主張番号	62/262,179		S).
(32) 優先日	平成27年12月2日(2015.12.2)	(74) 代理人	110000523
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アクシス国際特許業務法人
(31) 優先権主張番号	15/171,613	(72) 発明者	エブラヒム・メスチアン
(32) 優先日	平成28年6月2日(2016.6.2)		アメリカ合衆国マサチューセッツ州ニュー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		トン、リプリー・ストリート24
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 系および部品における信頼性情報の影響の識別および分析のためのモデルに基づく設計の拡張

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ひとつ以上の命令を含んだ命令群を格納するコンピュータ可読媒体であって、前記ひとつ以上の命令は一個以上のプロセッサにより実行された際に、前記一個以上のプロセッサに以下を行わせるものであって、すなわち、

技術的演算環境(TCE)中にモデルを受信し、ここで前記モデルは実行された際に動的実系の挙動をシミュレートし、前記モデルは複数のモデル部品を含み、前記複数のモデル部品は、前記動的実系に関連づけられ且つ少なくとも一種の性能定格もしくは公差に関連づけられた複数の実要素に対応することと、

前記動的実系のモデル信頼性への要求を受信することと、

前記要求に応じて、複数のシミュレーション経路を含んだシミュレーション中で前記モデルを実行し、ここで前記複数のモデル部品のうち的一個以上のモデル部品が、前記動的実系の信頼性レベルを決定するために、前記一個以上のモデル部品に関連づけられた少なくとも一種の定格もしくは公差の埒外で動作することと

を行わせることを特徴とする、コンピュータ可読媒体。

【請求項2】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記モデルの実行中において、

前記複数のモデル部品のうち少なくとも一個のモデル部品中にて、一種以上の故障を反復的に発動することと、

シミュレートされている前記動の実系において故障する挙動をもたらす、発動された一種以上の故障の各々について、故障する系の挙動をもたらした動作条件を含んだ故障の木を生成することと

を行わせることを特徴とする、請求項1に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項3】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記モデルの実行中において、

前記複数のモデル部品のうちの少なくとも一個において性能劣化が起こるように企図された、シミュレートされている前記動の実系に対して、一種以上の外部刺戟を適用することと、

10

シミュレートされている前記動の実系中での故障する挙動をもたらした、適用された一種以上の外部刺戟の各々について、故障する系の挙動をもたらす動作条件を含んだ故障の木を生成することと

を行わせることを特徴とする、請求項1または2に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項4】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記モデルの実行中において、

前記モデル部品のうちの少なくとも一個のモデル部品にて、一種以上の故障を反復的に発動することと、

発動された前記一種以上の故障が、それまで故障が発動していなかった他の一個以上のモデル部品に対して与える性能上の影響を測定することと

20

を行わせることを特徴とする、請求項1～3のいずれか一項に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項5】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記モデルからハードウェア記述言語（HDL）のコードを生成させることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一項に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項6】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、

プログラム可能なハードウェア装置に、生成された前記HDLのコードを統合することと、

30

前記プログラム可能なハードウェア装置を試験することと

を行わせることを特徴とする、請求項5に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項7】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、Hardware-in-the-Loop（HIL）試験を介して前記プログラム可能なハードウェア装置を試験させ、ここで前記プログラム可能なハードウェア装置は演算装置に接続されていることを特徴とする、請求項6に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項8】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記プログラム可能なハードウェア装置とインターフェイスを介して接続する別のモデルを走らせることを特徴とする、請求項7に記載のコンピュータ可読媒体。

40

【請求項9】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、

前記モデルを用いたシミュレーション試験から得られた、前記一個以上のモデル部品のうちの少なくともひとつの挙動を制御する、少なくともひとつの実部品信頼性パラメータに対するひとつ以上の不適合を表わすコードを生成すること

を行わせる

ことを特徴とする、請求項1～8のいずれか一項に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項10】

50

前記少なくともひとつの実部品信頼性パラメータが、動作限界、回復可能もしくは回復不能な故障の動態条件、または性能公差のうちの少なくとも一種を含む、請求項9に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項11】

実行された前記ひとつ以上の命令が、前記一個以上のプロセッサにさらに、前記少なくともひとつの実部品信頼性パラメータをユーザーが編集できるようにするダイアログボックスを生成することを行わせる、請求項9または10に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項12】

前記少なくともひとつの実部品信頼性パラメータが、モデル化される実部品のライブラリからの選択に基づき、前記ダイアログボックスを介して、所定の値へと初期化されることを特徴とする、請求項11に記載のコンピュータ可読媒体。

10

【請求項13】

前記少なくともひとつの実部品信頼性パラメータが、モデル化される実部品に関連づけられたデータシートから抽出されることを特徴とする、請求項9~12のいずれか一項に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項14】

前記モデルが、

前記動的実系について許容しうる動作挙動を定義する、系レベルの要件の組、および

前記モデル部品のトポロジー

20

を含み、前記モデル部品の各々は、前記動的実系中の前記実要素に対応するものであり、且つ前記モデル部品の許容可能な動作挙動を定義する少なくとも一種の性能定格もしくは公差を含むものであり、前記モデル部品のうちの少なくとも一個のモデル部品が、まだ定義されていないひとつ以上の値についての性能定格もしくは公差を有する、請求項1~13のいずれか一項に記載のコンピュータ可読媒体。

【請求項15】

一個以上のプロセッサを含んだシステムであって、

前記一個以上のプロセッサが、

技術的演算環境(TCE)中にモデルを受信し、ここで前記モデルは実行された際に動的実系の挙動をシミュレートし、前記モデルは複数のモデル部品を含み、前記複数のモデル部品は、前記動的実系に関連づけられ且つ少なくとも一種の性能定格もしくは公差に関連づけられた複数の実要素に対応することと、

30

前記動的実系のモデル信頼性への要求を受信することと、

前記要求に応じて、複数のシミュレーション経路を含んだシミュレーション中で前記モデルを実行し、ここで前記複数のモデル部品のうちの一個以上のモデル部品が、前記動的実系の信頼性レベルを決定するために、前記一個以上のモデル部品に関連づけられた少なくとも一種の定格もしくは公差の域外で動作することとを行うように構成される、システム。

【請求項16】

コンピュータにより実施される方法であって、

40

演算装置を用いて、技術的演算環境(TCE)中にモデルを受信し、ここで前記モデルは実行された際に動的実系の挙動をシミュレートし、前記モデルは複数のモデル部品を含み、前記複数のモデル部品は、前記動的実系に関連づけられ且つ少なくとも一種の性能定格もしくは公差に関連づけられた複数の実要素に対応するステップと、

前記演算装置を用いて、前記動的実系のモデル信頼性への要求を受信するステップと

前記演算装置を用いて、前記要求に応じて、複数のシミュレーション経路を含んだシミュレーション中で前記モデルを実行し、ここで前記複数のモデル部品のうちの一個以上のモデル部品が、前記動的実系の信頼性レベルを決定するために、前記一個以上のモデル部品に関連づけられた少なくとも一種の定格もしくは公差の域外で動作するステップと

50

を含むことを特徴とする、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願へのクロスリファレンス]

本出願は、米国特許仮出願第62/171,082号(2015年06月04日出願)および米国特許仮出願第62/262,179号(2015年12月02日出願)の優先権の利益を主張するものであり、これらの出願の全容はこの参照により本願に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0002】

付随する図面は本明細書にその一部を構成するものとして取り込まれるものであって、一種以上の実装を示すものであり、発明の詳細な説明と共にそれらの実装の説明をするものである。それらの実装における特徴は下記の図面から明らかとなり、一般的には、類似した参照番号は、同一の要素、機能的に類似した要素、および/もしくは構造的に類似した要素を指す。

【図1】本明細書に記載した例示的な実装の概要図である。

【図2】本明細書に記載したシステムおよび/または方法を実施可能な、例示的な環境を示す図である。

【図3】図2に描いた環境における装置のうちの一つ以上が有する、例示的な部品図である。

【図4】図2に描いた環境における装置のうちの一つ以上が使用可能な、技術的演算環境(TCE)の機能的コンポーネントの例を示す図である。

【図5】シミュレーションモデル中にて、実網(フィジカルネットワーク)を表しモデル化するための、ワークフロー図である。

【図6】モデル化された安定化電源回路の図である。

【図7A】モデル化された抵抗器についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図7B】モデル化された抵抗器についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図7C】モデル化された抵抗器についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図7D】モデル化された抵抗器についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図8A】モデル化されたキャパシタ(コンデンサ)についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図8B】モデル化されたキャパシタについての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図8C】モデル化されたキャパシタについての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図9A】モデル化されたインダクタ(コイル)についての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図9B】モデル化されたインダクタについての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図9C】モデル化されたインダクタについての信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、TCEダイアログボックス例のスクリーンショットである。

【図10】故障(破綻)するインダクタの表現例と、関連する電気信号方程式を示す。

【図11】米国海軍仕様キャパシタの故障モード分布の参照表である。

【図12】データシート生成方法の実装を示すフロー図である。

【図13】例示的なシミュレーション中において監視される信号のスクリーンショットで

10

20

30

40

50

ある。

【図14】例示的なデータシート生成の実装を表したワークフロー図である。

【図15】信頼性評価方法の実装を示すフロー図である。

【図16】モデル化された安定化電源回路に、故障（破綻）する電源入力を与えた図である。

【図17】例示的なシミュレーション中に監視された信号のスクリーンショットである。

【図18】例示的なシミュレーション中に監視された信号のスクリーンショットである。

【図19】異種モデルを含むモデル化された系を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0003】

下記の例示的な実装についての詳細な説明では、上述した付随図面を参照している。

【0004】

[1. 概要]

【0005】

従来の系設計（システムデザイン）では一般に、設計者（デザイナー）の経験に多くを頼っており、リスク管理のためとして新しい設計が従前の設計の発展形に過ぎなかったりすることもままある。そうした従来技術に係る手法では、設計者が時間をかけて、実部品（物理部品）が故障（破綻、フォールト）しうるあらゆる場合を想定し、また一種類の部品（コンポーネント）の故障と別の部品が故障する可能性への影響との間の因果関係を正確に特定するというをやっているわけである。系の性能（システムパフォーマンス）のチェックは、シミュレーションモデルと、原型（プロトタイプ）と比較してのモデル検査（モデルバリデーション）との組み合わせで行われている。シミュレーションの中心となるのはいつも、通常の動作条件なのであり、そこへ容易に識別できる極限状態（温度の極限状況など）と故障状況（系内の特定の部品の故障状況など）が加わってくる。故障状態は二値（利用可能または故障中）として想定されていることもあるのだが、現実の部品では経時的に「故障しだす」（動かなくなってくる）ことで、実部品の挙動（振舞）が経時変化するという可能性もある。このような挙動の変化は、（設計点から外れることで）実系（物理系）中の他の部品群の故障に加担し あるいはそうした故障を引き起こし

ひいてはそれら他の部品が壊滅してしまいうる。また、系を構成する一個以上の部品の挙動が望ましいものではなくなることにより、いずれの部品も壊滅するまでには至っていないというのに、系自体がもはや望むようには動かなくなってしまうという可能性もある。他の部品の故障への切っ掛けとなるような、望ましくないまたは劣化した性能の例としては、例えば以下が挙げられる。すなわち、おそらくは部品の経年劣化に起因して、故障する部品の帰還ループにおける周波数特性が変化してしまうことによる、系の不安定性または極限循環（リミットサイクル）。過剰な熱の発生により、隣接した部品が有効な動作範囲を超えてしまうこと。電力消費の増大により、過負荷がもたらされること。といったものが挙げられる。

【0006】

本明細書で説明する方法およびシステムは、信頼性工学（例えば、特定の時間に亘り、定められた条件下で一種以上の機能を行うように系または部品を設計することなど）に関し、且つ、コンピュータに実装されたモデルを使用することを介した実系の設計と挙動を検証および実証することにも関する。また本方法およびシステムによって、ひとつの部品故障と、ひとつ以上の他の部品および/もしくはシステム全体の破綻可能性への影響とのあいだの因果関係を、正確に識別しやすくすることもできる。図1は、本明細書に記載した実装の例示的概要を示す図である。図示しているようにこの概要には、グラフィカルユーザーインターフェイス（GUI）105、モデル110、ブロック群115A~115C、接続線（コネクタライン）120、測定点（measurement point; MP）125、およびシミュレーション130を含めることができる。GUI105の提供により、ユーザーが技術演算環境（TCE）240と対話し、モデル110を生成することが可能となる。モデル110によって、規律または管轄領域（数学、科学、工学、薬学、経済学、ビジネスなど）に対応する動的

10

20

30

40

50

実系、装置、工程、操作（動作）、機能、または機構についての、視覚的および/または機能的な表現を提供可能である。例えばモデル 110 は、電子回路、油圧系、内燃機関などに対応可能である。モデル 110 自体には、接続線 120 で互いに繋がれたモデル部品 115A~115C（ブロックなど）を含めることができる。当業者には、「ブロック（block）」という語がブロックを含んだモデル要素を排他的に指すわけではないことが理解でき、またこの語がブロック図の可読性と積木性の援けとなる他のモデル要素（ラベル、線、注釈など）をも含むことを理解できる。

【0007】

モデル部品 115A~115C は、モデル化される実部品（ハードウェア装置、系、下位系など）の性質に依存する機能、ならびに系全体のモデルの性質に依存する機能をそれぞれ実行可能である。接続線 120 は、信号値や、物理的な接続の場合には物理的な束縛条件を表現できるものである。ひとつ以上のシミュレーションループにおける実系のシミュレーション 130 中のモデル 110 を、装置により実行可能であり、例えばモデル部品の動作パラメータに関連する値を変化させての実行も可能である。モデル 110 には、モデル部品 115A~115C および/もしくは系全体（かその下位系）の信頼性情報を含めることができる。シミュレーション 130 の実行中においては、モデル部品、下位系もしくは系、またはモデル中の任意の点（例えば測定点 125）における信号の性能を、試験、計測、または他の何らかのやりかたで評価可能である。測定点 125 により、所与のモデル部品 115B または部品 115A~115C の群に対応した機能、工程、操作、挙動、またはその他の種類の特性（作業特性など）に関する測定を実施できる。部品 115B が電子回路部品に対応したものである場合には、ユーザーは測定点 125 を介し、電流、電位、電気抵抗、電氣的導通、部品の完全性（integrity）、または部品 115B に対応するその他の種類の特性に応じた測定を行うことができる。或る実装においては、そうした測定をシミュレーション 130 内で実行可能である。

【0008】

或る実装においては、モデル 110 の作成に使うGUI 105 の中で、シミュレーション 130 を直接作成してもよい。その一方で別の実装においては、モデル 110 が上記の追加的にか代替的に、シミュレーション 130 の生成に使用可能な実行可能なデータ構造の作成のために用いられてもよい。そうしたデータ構造を、上記の追加的にか代替的に、他の装置（アナログハードウェア、デジタルハードウェアなど）へと提供することで、他のコンピュータ装置でシミュレーションの作成ができるようにしてもよい。或る実装においては、シミュレーション 130 に、例えばユーザー装置（デスクトップコンピュータなど）により生成されたGUIが含まれていてもよい。他の実装においては、シミュレーション 130 が、GUIを提供するユーザー装置に接続し通信可能な一個以上の装置を含んでもよく、例えばモーター、電子回路基板、電子プローブその他の測定装置などを含んでもよい。

【0009】

詳しくは後述するが、或る実装においてはモデル部品 115A~115C についての信頼性情報を、モデル化される一個以上の実部品についての製造者提供のデータシート 135 から抽出することも可能である。上記の追加的にか代替的に、部品レベルまたは系レベルのデータシート 140、部品表（BOM） 145、または他のシステムもしくは部品の信頼性情報 150（例えば故障の木（フォールトツリー）、性能定格、公差、予測される故障、部品のカスケード故障、系の創発特性など）のうちの一つ以上を、シミュレーション 130 がモデルから自動的に生成することもできる。

【0010】

モデル 110 には、モデル部品群の正常な挙動の定義および故障した挙動の定義を含めることができる。部品故障の条件は、特定のモデル部品群 115 についての故障確率分布に関係したものとすることができ、且つ全体的な系の破綻につながりかねないようなモデル部品の故障のありえる組み合わせについてののものであってもよい。信頼性モデルは一般に、故障の木と条件付き/ベイズ確率分析とを使って表現できる。信頼性モデルの主要用途のひとつは、コンピュータ実装の系設計（システムデザイン）であり、これによって実

10

20

30

40

50

系を、多数の仮想モデル部品から所望の形態（トポロジー）として、定量化された信頼性を以って要求される一種以上の機能を実行するためのものとして構築することになる。そうした定量化された信頼性としては例えば、一個のモデル部品、モデル部品群、アプリケーション、および/または系のモデルについての、定義可能な信頼性情報データ要素やパラメータなどに関する定義された値および/もしくは未定義の値を有する信頼性情報の組が挙げられる（これらの例についてはさらに後述する）。モデル化された部品は、複数の管轄領域を跨いだ実部品（パーツ）を表すものであってよく、例えば電子部品（回路や電源回路（パワーエレクトロニクス）など）、光学部品、流体力学的部品（ポンプなど）、電気機械部品（ポンプなど）、生物学的部品、ならびにアルゴリズム的/コンピュータ制御の部品といったものであってよい。設計の仕事とは、（できれば定量化された信頼性の程度に達するようにして）要求される機能を果たしつつコストを最小限に抑える解法を探るものであると言える。

10

【 0 0 1 1 】

本開示の方法および装置の実装によって、より現実的な信頼性特性を説明できるような系設計工学が可能となり、例えば、故障モードを破滅的な破綻だけに限ることなく、劣化した部品性能のような望ましからざる挙動をも故障モードに含めることができ、且つ、モデル部品に公差（許容誤差）、動作限界、および挙動に起因する故障をあてがう（か、自動的に決定しておく）ようにすることが可能である。

【 0 0 1 2 】**[II. 演算環境の例]**

20

【 0 0 1 3 】

本明細書に記載の方法およびシステムは、モデルに基づく設計を用いるボトムアップアプローチ（すなわちモデル部品レベル）とトップダウンアプローチ（すなわち系レベル）の双方に関連することで、設計工程をサポートする。図2は例示的な環境 200 を示す図であり、この環境中にて動的実系をTCE 240 によってモデル化でき、また動的系モデル 110 を実行して実系をシミュレートし、結果を得ることができる。TCE 240 により、グラフィカルなプログラミングもしくはモデリングの環境（ブロック図環境など）を提供でき、修正可能なように割り当てられたデータ（信頼性属性など）を有する複数のモデル部品を含んだ動的系モデル 110 を生成できる。図示しているように、環境 200 には、ネットワーク 230 を介してサーバ装置 220 と相互接続したクライアント装置 210 を含めることができる。環境 200 の有する部品群は、有線接続および/もしくは無線接続によって相互接続可能である。図2には簡単のため、単独のクライアント装置 210 、サーバ装置 220 、およびネットワーク 230 を描いてある。実際には、環境 200 にはより多い個数のクライアント装置 210 、サーバ装置 220 、および/またはネットワーク 230 が含まれていてもよい。或る実装例では、クライアント装置 210 およびサーバ装置 220 を単独の装置の形態で提供してもよいし、または別々の装置の形態で提供してもかまわない。

30

【 0 0 1 4 】

図2では環境 200 の例示的な部品群を示してあるが、他の実装における環境 200 には、図2に示したそれと比べてより少ない個数の部品を含めたり、異なる部品を含めたり、異なる配置をされた部品を含めたり、および/または追加の部品を含めたりしてもよい。上記の追加的にか代替的に、環境 200 の有する部品群のうちの一つ以上が、環境 200 の有する他の一つ以上の部品によって行う旨が記載されている他の一種以上の処理（タスク）を行うようにしてもよい。

40

【 0 0 1 5 】

クライアント装置 210 には、ネットワーク 230 を介してサーバ装置 220 と通信可能な一つ以上の装置が含まれていてもよい。例えばクライアント装置 210 が含むことができるものとしては、ラップトップコンピュータ、パーソナルコンピュータ、タブレットコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ワークステーションコンピュータ、スマートフォン、PDA（パーソナルデジタルアシスタント）、および/または他の演算・通信装置といったものが挙げられる。

50

【 0 0 1 6 】

サーバ装置 220 には、一個以上のサーバ装置を含むこともでき、あるいは本明細書に記載した手法を以って情報を蓄積し、処理し、および/もしくは提供できるような他の種類の演算・通信装置を含めてもよい。サーバ装置 220 には、クライアント装置 210 と(例えばネットワーク 230 を介して)通信可能な装置を含めてもよい。一例としてサーバ装置 220 が含むことができるものとしては、一個以上のラップトップコンピュータ、パーソナルコンピュータ、ワークステーションコンピュータ、サーバ、CPU(中央演算処理装置)、GPU(画像処理装置)、ASIC(特定用途向け集積回路)、FPGA(フィールドプログラマブルゲートアレイ)など、および/または、上述の装置で実行されるソフトウェア(シミュレーターなど)といったものが挙げられる。一例として、サーバ装置 220 がTCE 240 を含み、本明細書に記載した機能の一部もしくは全部をクライアント装置 210 のために行うことが可能である。あるいは別の手法として、サーバ装置 220 を省略して、クライアント装置 210 が、本明細書に記載した機能の全部をクライアント装置 210 のために行うこともまた可能である。

10

【 0 0 1 7 】

ネットワーク 230 に含めることができるものとしては、LAN(ローカルエリアネットワーク)、WAN(広域網)、MAN(メトロポリタンエリアネットワーク)などのネットワーク、PSTN(公衆交換電話網)などの電話網、イントラネット、インターネット、またはネットワークの組み合わせ、といったものが挙げられる。ネットワーク 230 は、デジタルの性質および/もしくはアナログの性質を含んだ通信網であってよい。ネットワーク 230 で交換される情報としては、例えばネットワーク 230 内で使用可能な形式、ネットワーク 230 中の一個以上の部品(スイッチ、ルータ、ゲートウェイなど)で使用可能な形式、および/またはネットワーク 230 と結合した装置(クライアント装置 210 やサーバ装置 220 など)で使用可能な形式の機械可読情報が含まれてよい。例えばネットワーク情報を、ひとつ以上のパケットとしてカプセル化してもよく、そうしたパケットをネットワーク 230 を通した情報伝達に用いることができる。ネットワーク 230 内のコンポーネント同士のあいだで情報を交換するにあたっては、種々の通信プロトコルを用いることができ、例えばインターネットプロトコル(IP)、非同期転送モード(ATM)、同期光ネットワーク(SONET)、ユーザーデータグラムプロトコル(UDP)、伝送制御プロトコル(TCP)、電気電子通信学会(IEEE)802.11、または他の通信プロトコルを使用することができるが、これらに限定はされない。

20

30

【 0 0 1 8 】

ネットワーク 230 の一部は、(例えば配線導体、光ファイバー、導波管などを用いた)有線のものであってもよく、および/または(自由空間光(FSO)、無線周波数(RF)、音響伝送路などを用いた)無線のものであってもよい。ネットワーク 230 の一部には、実質的に開けた公共ネットワーク(インターネットなど)を含めることができる。ネットワーク 230 の一部には、より制限を受けるネットワーク(私法人ネットワークやVPN(仮想専用網)など)を含めることもできる。なお、本明細書に記載される通信ネットワークおよび/もしくは通信ネットワーク上で動作する装置の実装は、例えばそうした通信ネットワークが担う情報、通信ネットワーク中で使用されるプロトコル、および/または通信ネットワークのアーキテクチャ/構成に関するものには限られないことに留意されたい。

40

【 0 0 1 9 】

TCE 240 は、クライアント装置 210 のコンピュータ可読媒体中に提供可能である。上記の追加的にか代替的に、クライアント装置 210 とアクセス可能な別の装置(サーバ装置 220 など)の中に、TCE 240 を提供してもよい。ユーザーが修養に関連したタスクを行うことができるような演算環境を提供するハードウェアまたはハードウェアとソフトウェアの組み合わせを、TCE 240 に含めてもよい。そうした修養としては例えば、数学、科学、工学、薬学、ビジネスなどが挙げられるが、これらに限定はされない。このようにすることで、そうしたタスクが別種の演算環境中(例えばユーザーにC++、C、Fortran、Pas

50

calなどの旧来のプログラミング言語でコードを開発することを強いるような環境中など)で行われたと仮定した場合よりも効率的にタスクを行うことができる。或る実装においては、動的な型のプログラミング言語および/または配列ベースのプログラミング言語(M言語、MATLAB(登録商標)言語、MATLAB互換の言語、MATLAB類似の言語など)をTCE 240が含んでいてもよく、それによって数学的表記法を以って問題および/もしくは解法を表現可能である。

【0020】

例えばTCE 240は、配列(アレイ)を基本要素として使い、配列は次元設定(dimensioning)を必要としない。こうした配列を使うことで、配列中に含まれる値の組全体に対して作業を適用可能であるような配列ベースのプログラミングをサポートすることができる。配列ベースのプログラミングによって、高級プログラミングとして扱われるべき配列ベースの作業が可能となり、これによって例えば、個々の非配列の作業の明示ループを再ソートする必要無く、データ集合の全体の上で行われるべき作業をできるようにする。さらにはTCE 240を用いることで、行列式および/もしくはベクトル式を立てて、データ解析、データ可視化、アプリケーション開発、シミュレーション、モデリング、アルゴリズム開発などに使用することが可能である。こうした行列式および/もしくはベクトル式はさまざまな分野で活用でき、例えば統計、画像処理、信号処理、制御設計、生命科学モデリング、離散事象の分析および/もしくは設計、状態ベースの分析および/もしくは設計などの分野で用いることができる。

【0021】

さらにTCE 240は、数学的な機能(関数)および/もしくはグラフィカルツールを提供するものであってもよく、例えばプロット、表面、画像、立体表現その他の表現などを作成するために提供してよい。或る実装ではTCE 240が、非職業プログラマーが使うのに適切なツールボックスを用いたものとしてこうした機能および/もしくはツールを提供してもよく、例えば信号処理、画像処理、データプロット、並行処理などのためのツールボックスを用いたものであってもよい。上記の追加的にか代替的に、TCE 240がこうした機能を提供するにあたって、ブロックの組として提供してもよいし、あるいは別の手法、例えばライブラリを介したものの、ローカルもしくはリモートのデータベース(演算クラウド中で動作するデータベースなど)を介したものの、リモートプロシージャ呼出(RPC)を介したものの、および/もしくはAPI(application programming interface)を介したものの提供してもよい。本明細書に記載の方法およびシステムにおいて適切に使用できるグラフィカルベースのモデリング環境の例としては以下が含まれる。すなわち、MathWorks社製のSimulink(登録商標)ソフトウェア、Stateflow(登録商標)ソフトウェア、SimEvents(登録商標)ソフトウェア、Simscape(商標)ソフトウェアなどや、Visual Solutions社製のVisSimや、National Instruments社製のLabView(登録商標)や、Dynasim社製のDymolaや、Measurement Computing社製のSoftWIREや、DALSA Coreco社製のWiTや、Agilent社製のVEE ProもしくはSystemVueや、PPT Vision社製のVision Program Managerや、Khoral Research社製のKhorosや、Gedae社製のGedaeや、INRIA製のScicosや、Cadence社製のVirtuosoや、IBM社製のRational Roseや、Telelogic社製のRhapsodyもしくはTauや、Wolfram社製のSystemModelerや、パークリーのカリフォルニア大学製のPtolemyなどが含まれる。こうしたシステムでは、一個以上の系内で相互接続された実部品群のモデル化をするにあたり、実網アプローチを採ることができ、且つそのためのブロックライブラリの組と特別なシミュレーションフィーチャの組を含むこともできる。

【0022】

実網(フィジカルネットワーク)アプローチは、動的実部品群を含んだ系をシミュレートする上で特に適切なものである。動的系(自然の系でもよいし人造の系でもよい)とは、その系の所定時刻における応答が、入力された刺激、系の現行の状態、および現在時刻の関数であるような系を言う。動的実系に含まれるものとしては例えば、落下体、地球の自転、生体力学系(筋肉や関節など)、生体化学系(遺伝子発現や蛋白質経路)、天候・気象パターンの系、ボールの弾み、発条振り子、電気系・流体系・光学系、自動車、航空

10

20

30

40

50

機、白物家電の制御系、通信ネットワーク、音響信号処理、核反応炉、株式市場などが挙げられる。

【 0 0 2 3 】

実網モデリング環境によって、設計中の系を表す網（ネットワーク）表現を作成できるようになる。実系を示す実行可能なブロック図モデルは、物理値（電圧や圧力など）に関する束縛条件を表した線で相互接続されたブロックの集まりとして、概略的に表現することができる。図5は、実網アプローチの概要 500 を表した図であって、単純化した熱流体実系 505（開口部 510 および室 515 からなる）のモデル化を目論んだものである。図示しているようにTCE 540 を用いて、モデル部品（機能ブロック 525, 530 など）からなる熱流体モデル 520 を生成し、互いに作用しあう実部品 510, 515 を、ブロック 525 とブロック 530 で用いられる変数（圧力やマスフローなど）間の相関を定義する接続ノード 535 を介して相互作用するものとして表現することができる。各々のブロック自体が、動的系を表現するものであってもよい。この例でのノード 535 は、双方向的なものであって、実系 505 のモデル化される実部品 510 と実部品 515 との間の物理的関係を模倣しているものである。

10

【 0 0 2 4 】

機能ブロック 525, 530 の各々と熱流体モデル 520 に対しては、信頼性情報を関連づけておくことができる。そうした信頼性情報としては、確率的なもの（例えば部品の使用期間や極限環境条件などに基づくこと）であるかおよび/もしくは統計的なもの（例えば統計的に分析できるか正確な予測はできないような無作為な確率分布に基づいた平均故障間隔）である故障モード動態が含まれていてもよい。さらに信頼性情報として、性能特性、動作限界、公差（許容誤差）、ならびに、名目（公称）動作値/経年劣化による公差、および/もしくは隣接する部品群、および/もしくは故障条件の依存関係が含まれていてもよい。信頼性情報のうちのいくらかについての値および/もしくは範囲は、公知のものであってもよい（例えば製造者提供のデータシートから抽出されたものやライブラリから読み出されたものなど）、あるいは、いくつかの実装の説明において後述するとおり、初期状態では不知であるが熱流体モデル 520 を（TCE 540 の）実行エンジン 545 によるシミュレーションの実行を介して決定していくようにしてもよい。またそうした値および/もしくは範囲は、（現時点では）選択されていない部品についての要件として決定されてもよい。

20

30

【 0 0 2 5 】

或る実装例では、実系 505 に関連づけられた情報（外部の動作条件など）をもTCE 540 が受信して、その実系 505、モデル部品群、および外部の動作条件に関連づけられた信頼性情報に基づいてモデルを作成することで、実系 505 の動作をシミュレートすることができる。

【 0 0 2 6 】

実網アプローチでは、公知の物理方程式もしくはユーザーが編み出した物理方程式から得られる実動作値を演算することが可能である。モデル中で情報を伝播させ格納するに際しては、横断変数（across variables、言うなれば「差」の変数）ならびに通過変数（through variables、言うなれば「流れ」の変数）を使って行うことができる。ノード 535 などのノードには、ブロック 525 とブロック 530 に共に接続された横断変数を格納でき、またブロック 525 とブロック 530 は通過変数を格納できる。換言すれば、その二種類の変数を介して、それらのブロックが、モデルを構成する残りの部品と対話可能であるということである。実値（物理値）の保全を確実にするために、モデル解析手段（model solver、モデルソルバー）は、通過変数の代数和を接続ノードにおいてゼロにすることが求められる。なおそうした通過変数としては、マスフロー（流体のフローなど）、電流、熱流、力学的トルク、または電力束などが挙げられる。

40

【 0 0 2 7 】

実網に含められるものとしては、モデル化が可能な実特性（物理的特性）を有する任意の部品、構造、機構、または装置がある。モデル要素を定義することによって実部品を記

50

述する作業には、そのモデル要素を、プログラムの定義すること、演算的に定義すること、数学的に定義すること、および/もしくは行動的に定義することが含まれる。実部品を記述するモデル要素への接続手法は、無指向的なものであってもよいし、または非因果的なものであってもよい。実部品とそれに関連する物理的な挙動（ビヘイビア）は、関数的に定義できる。したがって、モデル要素によって表現される実部品の構造を、コンパイル時にパラメータと挙動のステートメント（宣言）に基づいて定義することができる。また実部品の構造を、モデルの実行の前、途中、もしくは後において変更することもできる。例えば、ユーザーが構成したかもしくは自動化スクリプトによって構成された構造を、シミュレーションに先立って修正してもよいし、あるいはシミュレーションの途中で変更してもよい。

10

【0028】

上述したように、実部品の信頼性は、その信頼性と関連づけられたモデル部品の一種以上の特徴もしくは特性（property）を以って表現することが可能である。信頼性情報は、実部品の特徴、機能、特性、もしくは他の定義可能な部分であってよい。挙動の特徴（部品の信頼性など）を、第一原理から記述することもできるし、また数学的方程式や動作条件に依存する範囲などによって記述することもできる。構造的な物理的パラメータを挙動的な特徴と組み合わせることで、実網中の実部品をモデル化しているモデル部品を形成できる。各々がひとつ以上の構造的・行動的な物理的特徴を有している一個以上の実部品によって、実網を記述することができるため、実網の有する実部品の各々と関連づけられたモデル中の一個以上のモデル部品が同様に存在できるということになる。

20

【0029】

上述したグラフィカルベースなモデリング環境の他に、さらにTCEは、テキストベースな環境や、統一モデリング言語（UML）もしくはSysMLの環境の態様や、あるいは別の種類の環境として実装することもできる。そうしたテキストベースな環境としては例えば、MATLAB（登録商標）software、Simscape（商標）（テキスト/複合コンポーネントを用いている）、Octave、Python（商標）、Comsol Script、National Instruments社製のMATRiXx、Wolfram Research, Inc.社製のMathematica、Mathsoft Engineering & Education Inc.社製のMathcad、Maplesoft社製のMaple、Imagine That Inc.社製のExtend、The French Institution for Research in Computer Science and Control（INRIA）製のScilab、Cadence社製のVirtuoso、Dynasim社製のModelicaもしくはDymolaなどが挙げられる。またそうした別の種類の環境としては例えば、ひとつ以上のテキストベースな環境とひとつ以上のグラフィカルベースな環境とを含んだハイブリッド環境などがある。

30

【0030】

[III. 装置構成の例]

【0031】

図3は、環境 200 の有する装置群のうちの一つ以上に対応可能である、装置 300 を図示した例である。図示しているように装置 300 には、バス 310、処理ユニット 320、メインメモリー 330、読取専用メモリー（ROM） 340、記憶装置（ストレージ） 350、入力装置 360、出力装置 370、および/または通信インターフェイス 380 を含めることができる。バス 310 には、装置 300 の有する部品間の通信を可能にする経路が含まれる。

40

【0032】

処理ユニット 320 には、一個以上のプロセッサ、マイクロプロセッサ、または命令を解釈し実行できるような他の種類の処理ユニットを含めることができる。メインメモリー 330 には、一個以上のランダムアクセスメモリー（RAM）または情報および/もしくは処理ユニット 320 により実行される命令を格納可能な他の種類の動的記憶装置を含めることができる。ROM 340 には、一個以上のROM装置または静的な情報および/もしくは処理ユニット 320 により用いられる命令を格納可能な他の種類の静的記憶装置を含めることができる。記憶装置 350 には、磁気的および/もしくは光学的な記録媒体ならびにそれに対応するドライブを含めることができる。

50

【 0 0 3 3 】

入力装置 360 には、ユーザーが装置 300 に対して情報を入力できるようにする機構を含められる。そうした機構としては例えば、キーボード、カメラ、加速度計、ジャイロスコープ、マウス、ペン、マイクロフォン、音声認識および/もしくは生体認証用の機構、リモートコントロール、タッチスクリーン、神経インターフェイスなどが挙げられる。出力装置 370 には、ユーザーへ向けて情報を出力する機構を含められ、例えばディスプレイ、プリンター、スピーカーなどが含まれる。通信インターフェイス 380 には、他の装置、ネットワーク、および/もしくはシステムと通信するための任意のトランシーバ様の機構を含めることができる。例えば通信インターフェイス 380 には、別の装置もしくはシステムとネットワークを介して通信するための機構を含めることができる。

10

【 0 0 3 4 】

本明細書に記載しているように、コンピュータ可読媒体（メインメモリー 330 など）に格納されたソフトウェア命令を処理ユニット 320 が実行するのに応じて、装置 300 は何らかの動作を行うことができる。なおコンピュータ可読媒体は、非一過性のメモリー装置であると定義できる。メモリー装置には、単独の物理的なメモリー装置の内部のメモリー空間か、または複数の物理的なメモリー装置に跨ったメモリー空間を含むことができる。ソフトウェア命令は、別のコンピュータ可読媒体（記憶装置 350 など）から読み出すかまたは通信インターフェイス 380 を介して別の装置から読み出してから、メインメモリー 330 中へと読み込むことができる。メインメモリー 330 中に格納されるソフトウェア命令によって、本明細書に記載されたプロセスを処理ユニット 320 に行わせることが可能である。あるいは別の手法として、実配線回路を、ソフトウェア命令の代わりに使うかもしくはソフトウェア命令と組み合わせて用いることにより、本明細書に記載されたプロセスを実施することも可能である。すなわち、本明細書に記載された実装は、ハードウェア回路とソフトウェアのいずれかの特定の組み合わせに限られるわけではない。

20

【 0 0 3 5 】

図3には装置 300 の有する例示的部品群を示してはあるが、他の実装における装置 300 は、図3に示したものと比して、より少ない個数の部品、異なる部品、異なる配置をされた部品、および/または追加の部品を有していてもよい。上記の追加的にか代替的に、装置 300 の有する部品のうちの一個以上が、装置 300 の有する一個以上の他の部品により行うものとしてここに述べてきたひとつ以上の他の作業（タスク）を行うようにしてもよいのである。

30

【 0 0 3 6 】

図4は、TCE 240 の機能コンポーネントの例を示す図である。或る実装では、図4に関して記載した機能を、装置 300（図3）の有する一個以上の部品によって行うこともできるし、および/または、一個以上の装置 300 によって行ってもよい。図4に示してあるように、TCE 240 には、ブロック図エディタ 410、グラフィカルエンティティ 420、ブロック群 430、および/または実行エンジン 440 を含めることができる。

【 0 0 3 7 】

ブロック図エディタ 410 には、動的系のモデルをグラフィカルに特定するために用いることができるようなハードウェアまたはハードウェアとソフトウェアの組み合わせを、含めることが可能である。或る実装では、ブロック図エディタ 410 によって、ユーザーがさまざまな所作を取ることができるようになり、例えばグラフィカルなモデルを構築し、編集し、表示し、注釈を加え、保存し、および/もしくは印刷するなどといったことができる。またそうしたグラフィカルなモデルとしては例えば、動的系を視覚的にかおよび/もしくは絵・写真を使って表現するブロック図などが挙げられる。別の実装では、ブロック図エディタ 410 を用いることでユーザーが、グラフィカルエンティティ 420 に関連するデータを作成しおよび/もしくは格納することができる。

40

【 0 0 3 8 】

またテキスト的インターフェイスを提供することで、ブロック図エディタ 410 と対話することも可能である。例えばユーザーが、自由形式にテキストを書いて（例えばスクリ

50

プトを書いて)、テキスト的インターフェイスを用いてモデル上での編集作業を自動化して行うこともできる。また例えば、テキスト的インターフェイスがモデルのためのキャンバスとして機能するウィンドウの組を提供して、ユーザーがモデルと対話できるようにしてもよい。モデルが複数の階層に仕分けられているかどうかにより、そのモデルにひとつ以上のウィンドウを含めてもよい。

【0039】

グラフィカルエンティティ 420 には、エンティティ群(信号線、バス、物理的接続など)を提供できるハードウェアまたはハードウェアとソフトウェアの組み合わせを含めてもよく、こうしたエンティティ群によって、機能的および/もしくは非機能的ユニットとモデルのブロック群 430とのあいだでデータが如何にして通信できているのかを表現する。ブロック群 430 には、ブロック図モデルの基本的な数学的要素を含めてもよい。

10

【0040】

例えばブロック群 430に、グラフィカルな表現(四角、三角、円など)を含めることで、モデルに含まれる数学的要素を表現するようにしてもよい。グラフィカルな表現はプログラムコードからなるものであってよく、且つ、モデルが実行された際(部品群の挙動がシミュレートされて表示された際など)において、実施されることになる数学的要素が目的を果たすことができる実行可能な意味(セマンティクス)を有してよい。部品群は、出力だけを有する場合のソースを含んでいてもよいし、または入力だけを有する場合のシンクを含んでいてもよい。実ポートだけを備えた部品群では、そのポートにおける物理的束縛条件(電圧、圧力、温度など)を定義するネットワークコンポーネントを表現できる。

20

【0041】

実行エンジン 440 には、グラフィカルなモデルを処理して、シミュレーション結果をつくりだせるハードウェアまたはハードウェアとソフトウェアの組み合わせを含めることができる。また実行エンジン 440 は、グラフィカルなモデルを実行可能なコードに変換することもできる。また実行エンジン 440 は、一個以上のモデルのために他の解析および/もしくは関連する作業(タスク)を行うこともできる。或る実装では、ブロック図を使ったグラフィカルなモデルのために、実行エンジン 440 が、そのブロック図のレイアウトに続き、そのブロック図を実行可能なエンティティ(実行ユニットなど)へと翻訳することも可能である。実行可能なエンティティを、中間的表現へと変換してから、装置(クライアント装置 210 など)の上でコンパイルおよび/もしくは実行し、モデルが指定する目的を果たすようにできる。

30

【0042】

グラフィカルモデルには、他のモデル部品と相関を有するモデル部品を含めることができ、そうした相関および/またはモデル部品は、それらと関連づけられた属性(attributes)を有していてもよい。またそうした相関には、モデル要素(接続線や参照など)を含めてもよい。そうした属性には、その属性に関連づけられたモデル要素についての、数値情報およびメタ情報が含まれる。グラフィカルなモデルは、構成情報と関連づけてもよい。そうした構成情報には、グラフィカルなモデルのための情報が含まれてよく、例えばモデル実行情報(数値積分式や基本実行期間など)、モデル解析情報(代数ループをエラーとみなすか警告を出すにとどめるかの判断など)、モデル最適化情報(実行中にモデル要素群がメモリを共有すべきかの判断など)、モデル処理情報(一般的な機能がモデルのために生成されたコード中で共有されるべきかについての判断など)、といったものが含まれてもよい。

40

【0043】

上記の追加的にか代替的に、グラフィカルなモデルが実行可能な意味(セマンティクス)を有していてもよいし、および/もしくはグラフィカルなモデルが実行可能であってもよい。実行可能なグラフィカルなモデルは、時間ベースのブロック図とすることができる。時間ベースのブロック図は例えば、線(接続線など)で接続されたブロック群(ブロック群 430 など)からなるものであってよい。そうしたブロック群は基本動的系からなるものであってよく、そうした基本動的系としては例えば微分方程式系(連続時間の挙動を

50

特定するためのものなど)、階差方程式系(離散時間の挙動を特定するためのものなど)、代数方程式系(束縛条件を特定するためのものなど)、状態遷移系(有限状態機械の挙動を指定するためのものなど)、事象ベースの系(離散事象挙動を特定するためのものなど)などが挙げられる。またそうした線が表現できるものとしては、信号(ブロック間の入出力関係を特定するためや、ブロック間の実行依存関係を特定するためのものなど)、変数(ブロック間で共有される情報を特定するためのものなど)、物理的接続(電気配線、容積フローを伴うパイプ、剛性な力学的接続を特定するためのものなど)といったものが挙げられる。またそうした属性は、モデル要素と関連づけられたメタ情報からなるものであってよく、そうしたメタ情報としては例えばサンプリング時間、寸法、複雑さ(値に虚数成分があるかどうか)、データ型といったものが挙げられる。

10

【0044】

時間ベースのブロック図においては、ポートをブロック(ブロック群 430 など)と関連づけてもよい。二個のポート間の関係は、その二個のポート間を線(信号線など)で繋ぐことを以って作成してもよい。信号は、各信号線接続によって表現される経時変化する量に対応し、各時点において値を持つことが想定されている。信号のソースブロック(source block)は、その系の方程式が解かれた際に、所与の時点において信号へ書き出しを行う。この信号の書き出し先ブロック(destination blocks)は、その系の方程式が解かれる際に、その信号から読み出しを行う。線は、追加的にか代替的に、(枝分かれ部位を作ることなどにより)他の線と接続することができる。例えば、三個以上のポートを接続するにあたっては、各ポートに線を接続して、その線の各々をすべての線に共通する枝分かれ部位に接続することによって行うことが可能である。線群に共通する枝分かれ部位は、実接続を表現するものであり、(例えば或る型の変数のすべてを足し合わせてゼロにするか、或る型の変数のすべてを等しくすることによって)動的な系とすることができる。ポートとしては、入力ポート、出力ポート、イネーブルポート、トリガーポート、関数呼出ポート、publishポート、subscribeポート、例外ポート、エラーポート、物理ポート、エンティティフローポート、データフローポート、制御フローポートなどが挙げられる。

20

【0045】

(ブロック群 430 などの)ブロック間の関係は、因果的なものであってもよいし、および/もしくは非因果的(因果関係を持たない)ものであってもよい。例えばモデルには、連続時間積分ブロックを表すブロックを含んでもよく、この連続時間積分ブロックがデータ記録ブロックと(接続線などの)線を用いて因果的に関連し、連続時間積分ブロックの出力ポートとデータ記録ブロックの入力ポートとが接続されるようにしてもよい。さらには、モデルの実行中において、連続時間積分手段により格納される値が、実行の現在時刻が進むのにつれて変化するようにしてもよい。連続時間積分手段の状態の値は出力ポートにおいて利用可能であり、データ記録ブロックの入力ポートとの接続によって、この値をデータ記録ブロックでも利用可能となる。さてここで因果関係の無い関係の例として、開口部ブロック 525 と室ブロック 530 を考えてみよう。室ブロック 530 は、室の圧力を定義する微分方程式を利用できる。そして室ブロック 530 へ開口部ブロック 525 から流入するフロー(流れ)は、その圧力を上昇させうる。同時に、開口部ブロック 525 は、このブロックを「通過(through)」するフロー速度を定めるような方程式を利用できる(名前の示すとおり、「通過変数」として定めるわけである)。この方程式は隣接する室の圧力に依存し、この隣接する室の圧力は、ノードの束縛条件(横断変数)を介して、開口部の吐出圧力と等しくなるように維持できる。このような種類の非因果的なモデリングを使って、実部品を表現可能であり、ひいては非因果的な部品の定義における故障(破綻)挙動について、監視、検出、記録、および反応を、実行エンジン 545 が行う能力を有するようである。

30

40

【0046】

実行エンジン 545 は、モデル要素の名目挙動(nominal behaviors)についての情報(ナレッジ)を(例えばユーザーおよび/もしくは自動化された仕様などから得て)蓄積し、またモデル要素(ブロック、ラベル、線、注釈など)のために存在する故障モードを有

50

する。したがって例えば定められた「通常」の範囲の裡で動作しているかもしくはそれから逸脱して動作しているシミュレーション中のモデル要素に対して、実行エンジン 545 は監視、検出、記録、および反応をする能力を持つ。実行エンジン 545 が、一個以上のモデル要素による故障（破綻）に繋がる挙動を検出した場合には、実行エンジン 545 はそれに応じた行動を取ることができ、例えば、記録および/もしくは報告の工程を起動させるためのコード（実行可能なエンティティなど）を生成すること、故障の木を作成すること、故障モードの影響の解析を開始すること、および/または、系レベルの信頼性情報をコンパイルすること、などといったことを行うことができる。

【0047】

サンプリング時間は、グラフィカルなモデルの要素と関連づけることができる。例えばグラフィカルなモデルは、連続サンプリング時間を伴ったブロック（ブロック 430 など）を含んでもよく、そうしたブロックとしては例えば、実行時間が進むにつれて入力値を積分できる連続時間積分ブロックなどがある。この積分は、微分方程式によって指定可能である。実行中には、数値解析手段（数値ソルバー）の一部である数値積分式によって、連続時間挙動を近似できる。数値解析手段は、実行時間を進めるにあたって不連続な（discrete）ステップで行うことができ、そうした不連続なステップは、実行中において一定であってもよいし（固定ステップ積分など）、あるいは実行中に可変であってもよい（可変ステップ積分など）。

【0048】

実行エンジン 440 は因果的なモデル（ブロック 430 など）もしくは信号ベースの系モデルをシミュレート可能であるが、一方実行エンジン 545 は、非因果的なブロックと下位系、または因果的なブロックとその下位系と非因果的なブロックとその下位系の混ざったものをシミュレートする能力を有している。非因果的なブロックは、連続時間的であり、微分方程式で定義可能である。例えばキャパシタ（コンデンサー）を通る電流は、そのキャパシタに印加される電圧の変化速度の定数倍に等しい。因果的な系に限って言えば、数値積分を使って挙動を近似できるのだが、変数間の束縛条件に複雑さが増してしまう（例えば他の部品ノードと互いに接続する部品ノードのすべてが、同じ電位にある場合など）。そうした束縛条件としては、微分の束縛条件（並列に接続された二個のキャパシタが、二つの微分変数を定め、それらの微分変数が同じ電圧変数を不可欠のものとして定める場合など）などが含まれる。このような類の方程式を解くには、束縛条件を扱うためのさらなるステップが必要になることがあり、シミュレーション性能を上げるために専門の解析手段（陰的な解法など）を使うことができる。

【0049】

多くの系では、物理的部分（モーター、ポンプ、ギアなど）とアルゴリズム部分（デジタル制御手段、故障検出コードなど）との双方を含んでおり、因果的ブロックと非因果的ブロックの混合を以ってモデル化可能である。ありえる実装のひとつでは、因果的なもしくはアルゴリズム的な部分を取り扱う実行エンジン 440 によって因果的な部分と非因果的な部分を別々に管理し、且つ、非因果的な部分を取り扱う実行エンジン 545 が、一定の離散的サンプリングレートにおける実系の境界状態を、実行エンジン 440 へと報告するようにできる。このような手法が似るのは、因果的な部分がすべて離散時間である、すなわちすべてアルゴリズム的であるような用途である。別の実装においては、単独の実行エンジン 545 が、因果的部分と非因果的部分の双方を取り扱う。

【0050】

上記の追加的に代替的に、グラフィカルなモデルが、離散的なサンプリング時間を伴う（ブロック 430 などの）ブロックを含むことができ、例えば、特定の遅延の後に対応する入力の値を出力できるような単位遅延ブロックなどを含むことができる。こうした遅延は時間間隔であってよく、このような時間間隔によってブロックのサンプリング時間を決定可能である。実行中において、単位遅延ブロックの出力が変化する時点に実行時刻が達した毎に、単位遅延ブロックを評価することができる。こうした時点については、実行開始前に設定したグラフィカルなモデルの解析予定に基づいて静的に決定しておくこと

10

20

30

40

50

ができる。

【 0 0 5 1 】

上記の追加的にか代替的に、グラフィカルなモデルには、非同期的なサンプリング時間を伴う（ブロック 430 などの）ブロックを含めることができ、例えば、周期的ではない時刻において接続したブロックの評価の予定を立てることができるような、関数呼出生成（function-call generator）ブロックを含めることができる。実行中において関数呼出生成ブロックは入力の評価でき、且つ、実行時刻が或る時点に達した際に入力が特定の値を取っていたときに、関数呼出生成ブロックは、実行時刻を進めるに先立ち、この時点において接続したブロックの評価の予定を立てることが可能である。

【 0 0 5 2 】

さらには、グラフィカルなモデルの属性の値を、そのグラフィカルなモデルの他の要素からかあるいは属性から、推測するようにもできる。例えばグラフィカルなモデルは、単位遅延ブロックといったブロック（ブロック 430 など）を含むことで、そのブロックのサンプリング時間を特定する属性を有することができる。グラフィカルなモデルが、基本実行期間を定める実行属性を有している場合には、単位遅延ブロックのサンプリング時間をこの基本実行期間から推測するようにしてもよい。

【 0 0 5 3 】

また別の例として、グラフィカルなモデルが、二個の単位遅延ブロック（ブロック群 430 など）を含んでもよく、その二個の単位遅延ブロックのうちの第一の方の出力が、第二の方の入力に接続されるようにできる。第一の単位遅延ブロックのサンプリング時間を、第二の単位遅延ブロックのサンプリング時間から推測するようにしてもよい。こうした推測は、モデル要素属性の伝播によって行うことができ、そうすることで第二の単位遅延ブロックのサンプリング時間属性を評価した後に、第一の単位遅延ブロックのサンプリング属性を評価することによってグラフ探索を進めることができる。これは、第一の単位遅延ブロックが直接に第二の単位遅延ブロックに接続されているが故である。

【 0 0 5 4 】

グラフィカルなモデルの持つ属性の値は、特性の設定に据えることができ、例えば一種以上の継承設定や、一種以上のデフォルト設定などに据えることができる。例えば、或るブロック（ブロック 430 など）に関連づけられた変数のデータ型を、デフォルトに設定でき、例えばdouble（倍精度浮動小数点型）に設定できる。デフォルト設定であるので、グラフィカルなモデルが含んだ要素の属性（接続したブロックに関連づけられた変数のデータ型など）および/もしくはグラフィカルなモデルの属性に基づいて、別のデータ型例えばsingle（単精度浮動小数点型）、integer（整数型）、fixed point（固定小数点型）などを推測することが可能である。別の例として、ブロックのサンプリング時間を、継承されるものとして設定することもできる。継承されるサンプリング時間である場合には、グラフィカルなモデルが含んだ要素の属性および/もしくはグラフィカルなモデルの属性（基本実行期間など）に基づいて、特定のサンプリング時間を推測することが可能である。

【 0 0 5 5 】

なお図4ではTCE 240 の機能コンポーネントの例を示してあるけれども、別の実装におけるTCE 240 には、図4で示したものに比して、より少ない個数の機能コンポーネント、異なる機能コンポーネント、異なって配置された機能コンポーネント、および/もしくは追加の機能コンポーネントを含めてもよい。上記の追加的にか代替的に、TCE 240 の有するひとつ以上の機能コンポーネントが、TCE 240 の有するひとつ以上の他の機能コンポーネントにより行うものとしてここに述べてきたひとつ以上の他の作業（タスク）を行うようにしてもよいのである。

【 0 0 5 6 】

[IV. 例示的な信頼性工学作業]

【 0 0 5 7 】

先進的な設計シミュレーションソフトウェアツール（上述したMathworks社のMATLAB（

10

20

30

40

50

登録商標)、Simulink(登録商標)、Simscape(商標)など)では、ユーザーがアルゴリズムを試験し修正することを助ける検証・確認機能(フィードバックコントローラなど)を提供しており、当該アルゴリズムを安全重視の系(飛行訓練用シミュレータなど)の下でハードウェア上でリアルタイムに走らせる助けとなる。本明細書に記載した方法およびシステムにより、そうしたシミュレーションソフトウェアツールが利用するブロック図中のブロックとして、信頼性情報をビルトインすることが可能となり、そうした信頼性情報としては公差(許容誤差)、故障挙動、故障状態の切っ掛け(トリガー)、および/または動作限界が含まれる。

【0058】

例えば本明細書に記載した実装では、すべてのありえる故障状況を解析する手間がかかり且つユーザーの知識に依存してしまうマニュアルの編集や他の追加修正をすることを必要とすること無く、単独の系モデルを定義できる。系とその部品群の信頼性パラメータの集合的な影響を説明できる単独のモデルを作成可能である。また別の特性として、部品、下位系、および/もしくは系全体についてのデータシート情報を得てデータシートを作成する能力もある。例えば系レベルのデータシートを提示するにあたっては、その系から実行エンジン 545 を用いて導出される性能特性と、許容される外部条件(温度など)に対する束縛条件との組として提示することができる。別の解析機能としては、創発型の故障の発生を自動的に予測する能力があり、これは、シミュレートした系へのストレス掛けと、特定の部品もしくは部品群の劣化した挙動が、互いへともしくはその系全体へと如何に影響をもたらすかを監視することによって為しえることである。仮定した/既知の部品データと、動的シミュレーションモデルとから、演繹的推定を系全体の性能に対してまで広げることができる。また帰納的シミュレーションアルゴリズムによって、モデル化した系を故障に至らせるあらゆる破綻の組み合わせを識別することが可能となり、後にそれらの組み合わせを抽出して故障の木を構築することもできる。

【0059】

図1に話を戻すと、或る実装におけるTCE 240 では、モデル 160 を、外部で実行されているコード(プログラム可能なハードウェア装置を統率しているターゲットプロセッサ 170 上のVHSICハードウェア記述言語(VHDL)など)に接続することで、processor-in-the-loop(ループ中のプロセッサ)構成、hardware-in-the-loop(HIL; ループ中のハードウェア)構成、software-in-the-loop(ループ中のソフトウェア)構成、またはmodel-in-the-loop(ループ中のモデル)構成をつくるのが可能となる。VHDLを使うことで、電子回路(最も一般的にはデジタル論理回路)の構造と挙動を精確に記述することができ、それによって自動化された解析、シミュレーション、およびVHDL記述のネットリストへの統合が可能となる。なおネットリスト(netlist)とは、実電子部品と、それらの部品同士をどうやって接続するかについての仕様書のことであり、集積回路を作るのに使うマスクの組を製造するための発注にそうして統合したネットリストを使うことができる。実行可能なコードによって変数情報を生成することもでき、そうした変数情報は論理作業領域に格納することもできるし、および/もしくは論理作業領域に関連づけられたユーザーインターフェイスを介して提示することも可能である。故障(破綻)の切っ掛けとなりえるものとしては、蓋然性、特定のタイミング、外部からの影響(フライトシミュレーターなどの接続した実ハードウェア 180 を、ユーザーが誤操作したことなど)、および/または、外部のハードウェア 180 および/もしくは系から持ち込まれた故障といったものが挙げられ、アルゴリズム的部分と同様に物理的部分の設計と適性もその一助となりうる。シミュレートされたものではない(例えば実在の)物理的な部品および/もしくは系が動作し、併せてターゲットプロセッサ 170 上でHILコード 160 が走っている物理的な世界の裡の実時間において、HILシミュレーションを行うのが典型的である。

【0060】

[V. モデル系およびモデル部品の例]

【0061】

TCE 240 によって、ブロック図系のモデル 110 の有するブロック 115A~115C (モデ

10

20

30

40

50

ル部品など)を、そのブロックが表して(代理して)いる実部品に関連した信頼性情報と合わせてパラメータ化することができる。そうした信頼性情報としては例えば、パラメータの許容誤差、性能定格、動作限界、および回復可能な故障の動態条件もしくは回復不能な故障の動態条件といったものが挙げられる。回復可能もしくは回復不能な故障の動態条件が示すのは、モデル部品、モデル部品群、もしくはモデル部品からなる系が、名目動作に適合しているかどうか、および/または、破綻した挙動が名目動作に復帰できる期待が持てるかどうかについて影響するパラメータである。回復可能もしくは回復不能な故障の動態条件に含まれるものとしては例えば、確率的な故障モード(系/部品の経年劣化や極限環境条件など)、統計的な故障モード(正確な予測はできないような無作為な確率分布に基づいたものなど)、および/もしくは隣接する部品(群)の状態に関する名目(公称)値/公差(許容誤差)の誘因および/または依存関係や、ユーザーの誤操作などといったものが挙げられる。また信頼性パラメータが定めることができるものとしては例えば、電子部品のインピーダンスへの温度の影響、部品が破滅的に故障する条件、後に故障する状態の挙動の定義、ならびに回復可能である条件などが挙げられる。こうした情報は、予め作成したライブラリから(手動か自動で)獲得することもできるし、あるいは、部品の供給元のデータシートから抽出することもできる。ブロックには、供給元のデータシートを辿り返せるリンクデータを含めることができ、データの追跡管理が可能である。くわえて設計の最適化のために、コスト情報(部品の許容レベルへのコスト感度など)を部品が捕捉することも可能と考えられる。

10

【0062】

20

上で述べているように、故障した挙動というのは、必ずしも破滅的に故障した挙動を意味しているわけではない。TCE 240 が生成できると考えられるダイアログボックスの例について以下説明していく。こうしたダイアログボックスにより、ブロック 115A~115C の挙動を制御する信頼性パラメータを、入力および/または編集することが可能となる。シミュレーション中には、測定点 125 における条件/信号を監視することにより、不適切な挙動を検出可能である。

【0063】

図6には、回路の出力電圧 605 を15ボルトに調節するDC-DC(直流-直流)変換器を表した、例示的なブロック図モデル 600 を示してある。ここでは、何らかの未調節の電源入力 630 を、名目値30ボルトとして置いた。この例では、1アンペア(amp)の周期荷重 665 が、1.5ミリ秒後にオンになり、その後0.5ミリ秒毎のオン/オフ周期を持つので、固定荷重 670 は4アンペアを引き出す。電源入力 630 からの電源電流 620 は、シミュレーション中に、測定点すなわち電源電流センサー 625 によって測定される。出力電圧 605 は、別の測定点すなわち電圧センサー 610 によって測定される。インダクタ(コイル)ブロック 640 からのインダクタ電流 655 は、電流センサー 635 において測定される。シミュレーション上でのこれらの信号のいずれかもしくはすべては、スコープブロック 615 を使って観測できる。

30

【0064】

ブロック図モデル 600 を使って、スイッチング電源の動作における部品公差および故障事象の影響を評価することができる。抵抗ブロック 645、インダクタブロック 640、およびキャパシタブロック 650 のすべては、定義された公差、動作限界、および故障を有することができる。図7A~7C、8A~8C、および9A~9Cには、TCEの部品パラメータ化ダイアログボックスの例を示しており、それぞれ、ブロック図モデル 600 が有する抵抗ブロック 645 とその故障ブロック 646、インダクタブロック 640 とその故障ブロック 641、およびキャパシタブロック 650 とその故障ブロック 651 をパラメータ化するために用いられる。これらの部品ブロックのいずれかにおいて故障を設定もしくは発動するには、そのそれぞれのパラメータ化ダイアログボックス 700, 800, 900 を開いて、故障タブ 710, 810, 910 上で「故障機能有効(Enable faults)」パラメータを「Yes」に設定することで行うことができる。

40

【0065】

50

図9Cに示してあるように、有効にされた故障機能は、モデル化されることになる実部品の性質に依って定義可能な多種多様な関連パラメータを有しており、これらは回復可能な挙動動態および回復不能な挙動動態に関連するものである。共通信頼性パラメータ（公差適用法 715, 815, 915 や公差分布 720, 820, 920 など）を発効させることで、所望であれば、すべての類似のパラメータについてまとめて探索しそれらのパラメータ上で動作できるようにするための解析手法をTCEが使うことが可能になる。（例えば抵抗の組などでは）モデル部品の公差が相関することは稀である場合もありえる。シミュレーションの実行において、モデル部品を通常の動作条件の埒外に置いて、公差値に影響を及ぼすようにする場合もありえる。このような場合には、TCEからユーザーにそういうことが起こった旨を知らせるようにしてもよいし、および/または、影響を受けた公差値をTCEが自動的に更新するようにしてもかまわない。なお明白な一般的故障ブロックの使用があくまで一実装例に過ぎず、別のアプローチもまた可能であるという旨が、当業者には容易に理解されるであろう。例えば別の実装では、明白な一般的故障ブロックを使わないことも考えられる。その代わりに実部品で故障が発生すると、TCEとモデル 600 が、実部品の「通常」の挙動をモデル化するために使われていた方程式を、故障条件での動作を表す方程式で置換するようにできる。

【 0 0 6 6 】

TCEの実行エンジン（図5に示した実行エンジン 545 など）は、モデル 600 を調査して鍛える。実行エンジン 545 には、例えばMATLAB（登録商標）やSimulink（商標）のAPIを、その演算環境に応じて含めることができる。実行エンジン 545 が、すべての故障について系モデル 600 を探索して、決定論的な故障と統計的な故障を弁別するようにしてもよい。また実行エンジン 545 が、故障のいずれかが（単独でか組み合わさって）系自体の破綻をもたらすかどうかを判断するために、モデル 600 を実行することもできる。試験を帰納的に行って、複数の故障条件を見積るようにしてもよく、そうしたシミュレーションの結果を、系レベルの故障の木に供してもよい。もしモデル部品が、統計的な故障確率についての情報を有している場合には、そうした情報を故障の木へ注釈として追加することで、系の信頼性もしくは故障間平均時間（MTBF）についての工学的吟味と自動化計算の援けとしてもよい。

【 0 0 6 7 】

モデル部品間に存する決定論的な故障の各々に関して、他の一個以上のモデル部品における挙動の条件もしくは変化が、如何にして特定のモデル部品の挙動の変化の切っ掛けとなりえるのかを、実行エンジン 545 が識別することも可能である。この情報は、系全体のデータシートにおける動作限界の決定に貢献できる。決定論的な故障の切っ掛けとなる条件および/もしくは創発的な故障の切っ掛けとなる条件（系の不安定性、極限サイクル、電源限界の違反など）のための試験を、Monte Carlo法を採ることで行うことも可能である。

【 0 0 6 8 】

実行エンジン 545 は、系モデル全体の性能および信頼性の結果を伝達可能である。そうした方法からの出力の一例としては、系全体（とおそらくはその系全体中に含まれる下位系）についてのデータシートがあり、こうしたデータシートは、部品の供給元によって用いられるデータシートに似たものであってもよいし、あるいは異なるものであってもよい。

【 0 0 6 9 】

モデル部品の信頼性情報には、そのモデル部品の状態、および/または、系もしくはそのモデル部品のすぐ隣に在るモデル部品（群）の状態に対する、決定論的な故障の依存関係を定義する方程式を、実施することが含まれていてもよい。こうすることで、決定論的な故障をシミュレーション中に人為的に割り込ませるのではなくて、行動的に引き起こせることになる。系のユーザーが新しい部品を利用できるようになる都度、その新しい部品に関してこうした方程式を生成することができるのであり、しかもユーザーが期待しているとおりに関連するデータシートと形式に準拠したかたちで生成できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

部品ブロックは、統計的な故障確率についての情報を捕捉することができ、それによってこの故障確率が、部品の状態およびその部品に関連するモデル部品が接続する系の状態にどのように依存しているか、あるいは、その関連する部品もしくはその系に対して外的な手法で影響している別の系にどのように依存しているのかを、定めることが可能である。この特徴により、最悪状況故障の木解析 (worst-case fault-tree analysis) がサポートされるので、最悪状況の部品故障確率を探索するようにシミュレーションモデルを鍛えることが可能である。

【 0 0 7 1 】

或る実装では、三種の故障モードを考慮できる。まず第一に、予期せざる系条件（或る期間に亘って電流もしくは温度がその限界を超えてしまったような場合など）により、モデル部品がその動作限界を超えてしまったというもの。第二に、モデル部品の統計的な故障モード（MTBFなど）を特定できるというもの。第三に、系の性質に関する創発型の故障が、前述の故障モードのいずれかに因って発生する可能性があるというもの。例えば系が不安定になったり、性能要求を満たせなくなったり、荷重の和が大きくなって電源を超えてしまったり、系の温度が上昇もしくは降下して許容範囲を逸脱してしまったり、などといったことがありえる。創発特性を、系もしくは下位系のうちの最小部分と関連づけることで、故障の木解析をサポートすることが可能である。なお前述したように、故障は恒久的なものであってもよいし、あるいは一時的なものであってもよい。

【 0 0 7 2 】

モデル部品の故障は、一種以上の事象を切っ掛け（トリガー）として発生しうるものであり、例えば、モデル変数および/もしくはシミュレーション時間の関数として発生が予測される決定論的な故障、一定の確率分布を以って発生する統計的な故障、および/または可変の確率分布を以って発生する統計的な故障といったものがその切っ掛けとなりうる。上述した確率は、モデル変数値（他の部品の故障状態を含む）に依存してもよい。故障の型は、モデル化される特定の実部品に依存するわけであるが、電子部品の種類について何らかの一般化をすることも可能である。例えば、

- (a) 故障している開回路、またはstuck-open故障。
- (b) 故障している短絡回路、またはブリッジ故障。
- (c) 新たなインピーダンスもしくは挙動を伴って故障している状態。
- (d) 縮退故障（ V_{cc} に固定されてしまった状態など）。
- (e) 遅延故障。
- (f) 経年劣化（周波数変化など）。

また統計的な故障の頻度は、例えば以下のようにして定義可能である。

(a) 故障密度：（論理系/コンピュータ系にさらに向いている）データ単位あたりの故障回数を定める（GByteあたりの故障回数など）。

(b) 故障率：故障が起きる率。 で表し、単位は、稼働時間1000時間あたりの故障回数である。（ $\text{fault}/10^3 \text{ hours}$ ）

(c) 故障に至るまでの平均時間（Mean time-to-failure; MTTF）：最初に故障が発生するまでにかかると予想される平均時間の推定。故障率一定の場合には $\text{MTTF} = 1/\text{故障率}$ となる。

(d) 修理されるまでの平均時間（Mean time-to-repair; MTTR）：故障発生からその修理までの間に経過する時間。

(e) MTBF：部品が別の故障を起こすまでの間に経過する時間。MTTFと似ているが、MTTRを含んでいることに留意。故障率が一定の場合にのみ使われることが殆どである。故障条件発生が繰り返す場合や複数種類ある場合には、それに基づいて値が変化するベクトルとして、MTBFを表すこともできる。

【 0 0 7 3 】

信頼性情報を伴った電子部品のモデリングに関する、限定を企図するわけではない例をいくつかさらに詳細に説明していく。

【 0 0 7 4 】

改めて図6を参照すると、実抵抗が抵抗ブロック 645 と関連する一般的な破綻ブロック 646 として図6に示したようにモデル化可能である。(なお図6ではわかりやすくするために二個のブロックを示してあるが、単独のブロックでも充分でありうる。)図7Aには、TCEダイアログボックスの例に関して、抵抗の信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するためのメインタブ 740 を示してある。メインタブ 740 には、名目抵抗値 725、公差範囲 730、公差適用法 715、および公差分布 720 が含まれている。図7Bおよび図7Cにはそれぞれ、TCEダイアログボックス例が持つ動作限界タブ 745 と故障タブ 710 を示した。なお、熱ノイズタブ 711 のスクリーンショットについては図示していない。前述したように、(故障タブ 710 上の故障機能有効パラメータ 705 を設定することなどにより)故障は有効にも無効にもできる。インダクタの故障タブ 910 は、図9に示しているように、追加的な信頼性パラメータを如何に定義して設定するかを示しており、例えば、故障が発生した際にその故障を報告するためにどのような行動を可能であれば取るかについてや、一時的な切っ掛け(トリガー)や、行動的な切っ掛け(許容可能な電圧や電流の範囲など)や、外部からの切っ掛け(設定した閾値と比べながら監視している外部パラメータ値)といったものを定義して設定することが可能である。

10

【 0 0 7 5 】

故障ブロックによって、抵抗値、静電容量値、および/もしくはインダクタンス値における即時的な変化として、電気的な故障をユーザーが表現することができるようになる。或る実装では、故障事象は一般に所定の時間に発動するようになるし、および/または、予め定義した動作条件(電流および/もしくは電圧の限界など)を特定の期間に亘って超過した後に発動することもできる。なおこれらはいずれも統計的なものに基づくようにしてもよい。一般的故障ブロックを、まだ信頼性をモデリングしていない他の既存のブロックと共に使うように設計することもできる。また一般的故障ブロックを、開回路故障挙動と短絡故障挙動の双方を再現するために使ってもよい。また、外部トリガー信号が高または低になった際に、故障事象が発動するようにしてもよい。任意に、外部トリガーのオプションによって、トリガー信号が復帰した際に、故障をリセットできるようにしてもよい。複数種の切っ掛け(トリガー)がシミュレーションにとって必要である場合には、その複数種の切っ掛けの機構については別々に有効無効を設定できるようにしてよく、また一緒に使用するようにもできる。また、モデル部品が故障状態から回復できるような類の故障があってもよい。こうした場合には、故障のリセット時間を定義してもよいし、あるいは監視する故障条件の閾値を定めてもよい。

20

30

【 0 0 7 6 】

一般的な故障(generic fault)に関しては、何の故障も発動しない際には、二個の電気ポート 647, 648 の間の抵抗値を、「故障が無効である(故障しない)抵抗パラメータ値」に設定することができ、これのデフォルト値は実質的に無限大オームとすることができる。これはつまり、抵抗ブロック 645 の持つポート 647, 648 が、開回路をシミュレートしているというわけである。さて故障が発動すると、二個の電気ポート 647, 648 の間の抵抗値が、「故障する抵抗値」へと変わり、これのデフォルト値は例えば 10^{-3} オームとすることができる。これはつまり、これらのポートが短絡している状態ということになる。ユーザーは、故障が発生する際に、(他のモデル部品の挙動に影響しうる)アサーション信号を発行するかどうかを選択できる。また故障ブロック 646 からの出力は、件の故障に基づいてユーザーが他の故障を修正することを必要とするものであってもよい。故障発生にあっては、「何もしない」(されどシミュレーションは続く)というオプション、「故障が発生した旨を警告」というオプション、「シミュレーションを停止」というオプション、および「エラーを生成」というオプションを選択可能に設定してもよい。或る実装においては、故障条件との遭遇の回数を計上することが望ましい。こうした情報はモデル中で利用できると考えられ、例えばブロック出力として利用できるであろう。

40

【 0 0 7 7 】

あらゆるモデル部品と同様に、方法の最初のステップもまた、その抵抗のデータシート

50

から得られる信頼性情報（故障モードを含んでもよい）であれば何でも掻き集めてくるためのものであってよい。ユーザーは、これらの故障モードを発動するやりかたを改良することもできる。抵抗のデータシートのパラメータおよび関連するユースケース（活用事例）を表にすることもでき、そうした表の例を以下に示した。

【表 1】

パラメータ	活用事例 1: 警告/エラー	活用事例 2: 挙動変化	活用事例 3: Monte Carlo
電力定格: 70°Cで見積ることが多い(P70) 高温での電力定格を示す負荷軽減曲線(その温度における負荷のパーセント格付)	超過時に警告 またはエラー: 故障とみなされる		
短期的過負荷: 電力定格の 2.5 倍が 5 秒間に亘り適用された後での恒久的な抵抗変化		シミュレーション中に 名目抵抗値を更新	
抵抗公差			シミュレーション開始時に公差を適用(オプションとして反復可能、ランダム、および極限事例を用意)
温度係数公差			シミュレーション開始時に公差を適用(オプションとして反復可能、ランダム、および極限事例を用意)
動作温度	超過時に警告 またはエラー: 故障とみなされる		
負荷寿命、例えば 1000 時間の定格負荷運転後に±1% 昇温時の寿命、例えば 1000 時間の無負荷運転後に±3%		名目抵抗を、時間と負荷の関数として更新	

10

20

30

40

50

耐湿性、例えば 95% RH での 1000 時間の運転後に±1%		シミュレーション中に名目抵抗値を更新	シミュレーション開始時に公差計算に含まれる	
半田づけ、例えば 10 秒間、260°C ±1%R+0.05 オーム			シミュレーション開始時に公差計算に含まれる	10
最大使用電圧、例えば $\min(50, \sqrt{\text{power_rated} * R})$	超過時に警告またはエラー：故障とみなされる			
最大過負荷電圧、例えば $\min(100, 2.5 * \sqrt{\text{power_rated} * R})$	超過時に警告またはエラー：故障とみなされる	シミュレーション中に抵抗値を変更：ユーザーは新たな値（開回路など）を指定する		20

【 0 0 7 8 】

シミュレーション開始時における抵抗値の公差計算は、膨大な考慮事項（名目公差、湿度、ハンダづけ、以前の荷重など）に依存する可能性があることに留意されたい。（特定のシミュレーション時刻や、ユーザー定義の確率/無作為分布に依るものや、あるいは他のモデル変数の機能から）事象の切っ掛けと、その事象に伴う新しい部品の挙動（開回路、短絡、新たな抵抗値、またはダイオードとしての挙動といったようなまったく異なる挙動など）を指定するように、ユーザーに対して促してもよい。

【 0 0 7 9 】

図7Aには、抵抗の公差値のパーセンテージを定めるためのメインタブ 740 を示してある。シミュレーションにおいては、Monte Carloシミュレーションと最悪状況探索解析の双方をサポートできる公差を適用する選択肢も用意できる。公差適用法 715 を使うことで、公差が無作為（ランダム）に適用される（ランダムを選択した場合には反復性を定めるために更なるドロップダウンメニューも用意できる）のか、または公差を名目値もしくは最小/最大値へと設定するのか、あるいは公差を方程式に従って決めるのかを定義可能であって、これらすべてが制御可能であることが望まれる。任意選択的に、ユーザーが抵抗値用に提供された名目値に公差を適用してもよい。典型的なデータシートでは、所与の抵抗の型に関する公差の割合（パーセンテージ）が掲げられている。シミュレーション中でこの公差をどのように適用するかを選択するにあたっては、例えば公差値をnone（適用無）、random（ランダム）、max（最大）、およびmin（最小）の中から選ぶようにできる。

【 0 0 8 0 】

図7Bには動作限界タブ 745 を示しており、ここではユーザーがモデル動作限界を設定するか否かを択べるようになっていているものを使っている。可能であれば、限界に達した際には、シミュレーションが例えば、警告を発してさらに継続してもよいし、停止してエラーを発してもよいし、あるいは一時停止してデバッグをするようにしてもよい。上記の第

10

20

30

40

50

一のオプションがサポートできるものとしては、例えば動作限界を超えてもそれが直ちに部品故障を意味するのでは無く、そのままシミュレーションを継続できるので、他の故障（昇温など）への影響を調査することが可能になるというような場合がある。その他のオプションでは、動作限界を超過した際に（例えば直ちに部品が故障することを想定して）故障状態方程式を呼び出すことができるものである。また、デフォルトの動作パラメータも設定可能である。動作限界タブを介して利用できるオプションとしては特に以下に掲げたものが挙げられる。すなわち、電力定格、負荷軽減（パーセント、ベクトル、もしくは単点）、負荷軽減するデータのための温度ベクトル（負荷軽減ベクトルと同じサイズ）、電力定格を超過した際に取る行動としてNone（何もしない） | Warn（警告する） | Pause（一時停止する） | Error（エラーを発する）から選択されるもの、最大使用電圧、最大使用電圧を超過した際に取る行動としてNone | Warn | Pause | Errorから選択されるもの、といったものが挙げられる。

10

【0081】

図7Cには故障タブ 710 を示しており、ユーザーはこの故障タブ 710 を介して、故障が起きた際にもしくは他の挙動の切っ掛けが発動した際にユーザーがシミュレーションを止めるか、あるいは継続するかを選択できる。このときにシミュレーションを継続することによっては例えば、その故障が後にトップレベルの系の破綻を引き起こすものかどうかを判断したり、あるいはその故障が故障検出・分離アルゴリズムによって捕捉され管理されるかを判断することもできる。この故障タブを通じて利用可能なオプション（そのいくつかは図9Cに示してある）としては、以下を挙げることができる。すなわち、故障の切っ掛けの型（時間に基づく故障事象や統計的なものに基づく故障事象）、故障時間（デフォルトでは無限）、故障リセット時間、MTBF（デフォルトでは無限であり、複数の故障が発生している場合には変化した値を定義するためのベクトルであってもよい）、リセット間隔平均時間、故障電流、ならびに故障に至るまでの時間といったものが挙げられる。

20

【0082】

或る実装では、図7Dに示したような熱ポートタブ 711 を選択すると、抵抗ブロック 645 の熱ポートを表示して、熱依存のパラメータを提示して閲覧や編集に供することができる。抵抗部品の持つありえるパラメータとしてはとりわけ、サーマルマス、初期温度、消費電力ベクトル、および熱時定数がある。ブロック群の熱ポート変形例によって、温度を活用できる。それゆえに、ユーザーが負荷軽減曲線を活用したいと考えた場合、熱ポートを開いて適切な熱モデルを追加することができる。別の手法として、すべてのブロックに亘り任意付加的な熱ポートを付けて、第三の熱オプションを実装することも可能と考えられ、これを「内部熱モデル」と記述する。動作限界タブ 745A では追加的なパラメータを示しており、これらにより、温度上昇に伴って抵抗の動作限界範囲がどのように減少するかを決定できる。

30

【0083】

一個以上のブロックの挙動に基づいた創発特性は、実行エンジン 545 によって検出することもでき、および/またはカスタムブロックによって定義することもできる。こうしたカスタムブロックは、シミュレーション中に、鍵となる動作パラメータおよび故障信号を測定するものであって、警告（シミュレーションを停止しない）もしくはエラー（シミュレーションを停止する）を発することもできるし、あるいはシミュレーションの後に単純に確認をすることも可能である。

40

【0084】

図9AにはTCEダイアログボックスの例を、インダクタの信頼性パラメータのためのメインタブ 940 に関して示した。このメインタブ 940 には、名目（公称）インダクタンス値 925 と、公差範囲 930 と、公差適用法 915 と、公差分布 920 とが含まれる。図9Bと図9Cはそれぞれ、TCEダイアログボックスの例の動作限界タブ 945 と故障タブ 910 を描いたものである。インダクタのモデル部品の例には、以下に示す信頼性パラメータを含めることができる。すなわち、

[a] 公差 - インダクタンス値では20%の範囲であることが一般的である。

50

[b] 動作限界 - 最大電流、温度範囲（熱ポートがモデル化されているなら）。

[c] 温度依存性 - データシートでは、直列抵抗を除けば温度依存性についてはデータが無いのが普通である。

[d] 故障の型 - (a) 破綻した開回路、(b) 巻線間短絡した回路、(c) 巻線が接地して短絡した回路。インダクタやモーターの巻線の故障は、電圧の急上昇（サージ）が切っ掛けで発生することがあり、絶縁破壊につながってしまう。こうして絶縁破壊が起きると巻線間で短絡が生じ、（磁気誘起された電流によって）非常に高温となって、溶融が起きる。こうなるとその結果としてまず間違いなく故障が発生するので、決定論的なモデル化が実践されている。そうした結果として起こる挙動としては、以下が含まれる。

a. 短絡した巻線が過熱して開回路になってしまう。インダクタが再び動作可能になることもありえるが、インダクタンスは減ってしまう。また故障間の時間もしくは平均時間に基づいて、別の故障が割り込んでくることもありえる。

b. 短絡した巻線が過熱して、インダクタ自体が開回路になってしまう。このため、その後の故障事象は無効になる。

c. 短絡した巻線が過熱して、隣接する巻線と巻線で短絡してしまい、インダクタンスを有する二個の短絡回路が残される。

d. 短絡した巻線が過熱して、接地してしまう。

【0085】

シンタックスについて。

インダクタの初期故障の後に起こりうる挙動は数多いと想定される。そこでこの実装例では、初期故障の後に起こる（単複の）挙動を定義するために使えるシンタックスを用意してある。起こる挙動を仮定するにあたっては、複数種の配線引き回し（トポロジー）を含めて、ユーザーがその複数種の配線引き回しの順序を定めるようにしてもよい。例えば、巻線間での回路短絡が連続して起こると、以下のような割合の分割巻になってしまうことがある。

100 -> 10 + 90 -> 10 + 10 + 80 -> 10 + 10 + 10 + 70 -> 10 + 10 + 10 + 10 + 60

元の巻線の部分のそれぞれが、以下の三種の状態のうちの一つに該当するわけである。すなわち、

機能している状態。 [N]

対応する相互インダクタンスループを以って、巻線間で短絡している状態。 [-N]

溶断した状態に対応する相互インダクタンスループを以って、巻線間で短絡している状態。 [inf]

接地して / 容器に短絡して、巻線間で短絡している状態。 [0]

開回路。 [inf]

【0086】

例1: [-10 90] とは、最初の10巻分が関連する相互インダクタンスを有する巻線間短絡回路になっていて、残りの90巻分が有効な状態であることを意味している。

【0087】

例2: [0 90] とは、分離していた10巻分がもはや溶断してしまい、接地したか容器に短絡した状態であることを意味している。

【0088】

例3: [-10 -10 80] とは、最初に分離した10巻分から発せられた熱によって、その隣の10巻分も短絡してしまい、第二の巻線間相互インダクタンスループができてしまっている状態であることを意味している。

【0089】

例4: [inf -10 80] とは、分離していた最初の10巻分が既に、開回路になってしまった状態であることを意味している。

【0090】

例5: [inf] とは、インダクタ自体が開回路になってしまったことを意味している。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 1 】

ユーザーは、故障状態の順番を、以下のような行列を使って特定できる。なお「NaN」は入力がない（空白である）ことを意味する。

[-10 90 NaN; -10 -10 80; 0 80 NaN]

話を簡単にするため、どの時点においても分離した巻線が一組あるという仮定をすれば、以下のようなシンタックスで書き換えられる。

[-percent1 -percent2 ... -percentN {inf|+percentShort}]

【 0 0 9 2 】

前の方に書いてある割合（percent）は、失われた、隣合う巻線の連続巻数を表す。最後のエントリは、「inf」が正数かになり、前者は開回路であることを、後者は芯に接続している状態（core short）であることを、それぞれ表している。芯に接続している状態に関しては、残っている巻数を、前述の割合の和から定めることもできる。残っている巻線の左端を0に、残っている巻線の右端を100として、位置を正数の値で設定できる。

【 0 0 9 3 】

（抵抗に関してのものと同様、シミュレーション時刻や統計的なものなどの機構を用いて切っ掛けとすることが可能であるような）初期故障事象の後には、後続の故障状態遷移をステップスルーできる。選択肢のひとつとしては、初期故障の後の遷移時間のベクトルがある。何らかの単純な物理に基づく条件であって、遷移がインダクタ電流に依存するようなものとしては、下記が含まれる。

オプション1: 巻線についてのサーマルマスを、芯についての第二のサーマルマスと共に仮定する。分離した巻線の組のそれぞれについてのサーマルマスを、全体の巻線サーマルマスの対応する分数として仮定する。ユーザーは、巻線-巻線および巻線-芯についてのコンダクタンス値、ならびに溶断温度を提供可能である。

オプション2: 溶断を生じる電流レベルおよび関連する時間を定義する。

【 0 0 9 4 】

初期故障の切っ掛け（トリガー）は、抵抗の場合と同様に実装することもできるが、過渡サージ電圧を切っ掛けとすることも許容される。過渡サージ電圧によって、（通常は巻線の末端にて）絶縁破壊が起きる。絶縁寿命は、温度が10華氏度上昇する毎に半減する。

【 0 0 9 5 】

インダクタモデルをサポートする数式を図10に示した。この例では束縛条件を加えて、任意の時刻において短絡相互インダクタンスが副次的に一個だけ存在するようにした。このため、（この場合については）微分方程式は二つ立てるだけでよいようになっている。こうした手法は、故障の順序（上記参照）を定義するのを簡単にしてくれる。

【 0 0 9 6 】

図8Aには、キャパシタ信頼性パラメータを閲覧および/もしくは編集するための、例示的なTCEダイアログボックスのメインタブ 840 を示してある。メインタブ 840 には、名目静電容量値 825 と、公差範囲 830 と、公差適用法 815 と、公差分布 820 とが含まれている。図8Bと図8Cにはそれぞれ、例示的なTCEダイアログボックスの動作限界タブ 845 と故障タブ 810 とを示した。キャパシタモデル部品の例には、以下のパラメータを含めることが可能である。すなわち、

[a] 公差: 静電容量では典型的には約10%程度、温度依存

[b] 動作限界: 電圧定格、逆起電圧、電圧定格用の温度、動作温度範囲（-55 ~ 125 など）、85 超での電圧負荷軽減、最大リップル電流、最大リップル電流用の周波数、高温でのリップル電流用の負荷軽減係数、最大電力消費、消費係数

[c] 故障: 故障モードには特に以下が含まれる。

(1) 過電圧により絶縁破壊された結果、導電路ができてしまうこと。

(2) 経年劣化、または電極材料の絶縁体への移動現象（マイグレーション）によって、絶縁破壊が起きること。

(3) リード接点が（例えば振動によって）機械的に破壊されてしまうこと。

(4) 電解質が涸び、静電容量が減少してしまうこと。

10

20

30

40

50

(5) 内部抵抗が増加して高温をもたらし、最終的には耐用寿命を削ってしまうことになり、通常は短絡を起こすこと（例えば故障率は、+10度昇温する毎に倍加する）。

(6) 高い動作電圧とリップル電流によって定められる危険因子。

またモデル化された故障状態には特に以下が含まれる。すなわち、開回路、短絡（絶縁破壊）、値の変化、漏洩電流の増加。図11には、キャパシタについての例示的な故障モード分布の表を示してある。

【0097】

モデル化可能なその他の実部品としては、水晶発振子やセラミック発振子があり、その信頼性は周波数安定性に左右されうる。周波数発振器はそうした発振子を含むものであり、経年劣化や環境変化（温度、機械的振動、圧力、湿度など）による周波数変化に敏感なことがある。そうした物理的挙動を、無理なく忠実にモデリングすることで、設計者が発振器の部品を適切に選択可能となり、ひいては自動調整の推奨周期やクロック回路の手動較正も適切に選択できるようになる。一例として、言及したような経年劣化や他の要因により、不断の調整抜きには水晶発振子の名目周波数の 10^{-10} 倍以内に抑えることが難しくなってしまうことがある。品質の問題を軽減するにあたっては、適切なマニュアル（耐用期間など）を整備するか、あるいは自動化較正機構（大域的クロック同期の体系など）を確立することで対処可能である。本明細書に記載したシステムおよび方法は、部品レベルでの正しい経済的な（コスト/利益）選択を行う助けとなりえる。例えば、利用可能もしくは推奨される部品の組に逆らって、適切なセラミック発振子を水晶発振子と対比して使うような選択ができる。

【0098】

[VI. 方法の例]

【0099】

図12を参照すると、例示的な実装によって、TCEおよびシミュレーションモデル中の関連する信頼性情報（性能定格、公差、動作限界、故障動態など）を使うための方法 1200 が提供される。こうした方法 1200 によって、モデル化される動の実系の系レベルの挙動を評価することができる。ブロック 1210 では、動の実系のモデルおよび一種以上の要求をTCEを用いて受信できる。例えばその動の実系を表すにあたっては、ブロック図と配線引き回し（トポロジー）の形態を用いることができる。そうしたモデルはTCEを使って作成されたものであってもよいし、あるいは別の源から受信されたものであってもよい。第一の実施形態においては、要求が受信されると、一種以上の信頼性情報の値が生成され、受信したモデルのモデル部品についての許容可能な動作挙動が定義されるようにでき、なおここでは信頼性情報の値は定義されていなかったものとする。別の実施形態においては、受信された要求を、系レベルもしくは用途レベルのデータシートの生成のために使うことが可能である。ブロック 1220 では、実系の実部品についての信頼性情報を、部品供給元のデータシートから抽出して、TCEを介して系モデル中の関連するモデル部品に対して割り当てることができる。また追跡管理を目的として、モデル部品とそれに関連する実部品データシートとの間に、永続リンクを確立しておいてもよい。ブロック 1230 では、系レベルの要件および/もしくは用途レベルの要件の組を立てることができ、こうした組を自動的に適性（コンプライアンス性）を確認できるアサーション条件もしくはブロックを使って表現可能である。ブロック 1240 では、モデルまたはそのモデル中の部品を、TCEが反復的に実行することができ、上述したように動作条件および故障条件の計測を行うことができる。例えばTCEは、探索もしくは最適化に基づく方法を使って、系レベルもしくは用途レベルの要件を満たしつつ使用可能なモデル部品に関する最大公差と信頼性情報の名目値を見出すことが可能である。

【0100】

或る実装においては、モデル部品のうちの一個以上が、まだ特定されていない信頼性情報値を一種以上有していてもよい。こうしたシミュレーションループでは、モデル部品についての既知の信頼性情報の値を、その既知の信頼性情報の値の範囲に亘って変更することができ、その一方で不知の信頼性情報の値も、そのモデル部品の種類に適する全ての値

10

20

30

40

50

(もしくは期待される範囲の値)に亘って変化させて、予め定めた系もしくは用途の要件に違反するような信頼性情報の値の組み合わせ(既知のものとかこれから定めるもの)における、系の挙動または用途の挙動を監視するようにできる。ブロック 1250 では、TCEが所望の情報を出力する。或る実装においては、信頼性情報の値が不知であったモデル部品についての、最適な信頼性情報の値の名目値および/もしくは範囲を、所望の出力に含めるようにする。この情報が取ることができる出力形態の一例としては、部品データシートがあり、こうした部品データシートには関連するモデル部品を辿り返せるようにリンクを張ってあってもよい。

【0101】

或る実装でブロック 1260 が伴うことができる工程としては、実系中で用いられている種類の部品のうちで、ブロック 1240 で決められた値にマッチするような信頼性情報を有するものを求めて、TCEがデータベース(利用可能な部品の目録など)を探索するということがある。TCEは、ブロック 1270 において部品表(bill of materials; BOM)を生成することもでき、こうした部品表はモデル部品群とそのそれぞれに対応する信頼性情報を含み、動的実系(部品目録中で利用可能な実部品を含んでいてもよいし含んでいなくてもよい)を構築するために使われる。或る実施形態においては、ブロック 1280 にてTCEが、系レベルのデータシートを生成する。この系レベルのデータシートに含めることができるものとしては、動的実系の有する実部品の一覧、その実部品の各々に関連づけられた信頼性情報(既知であるかもしくはシミュレーションを通じて決定されたもの)、ならびに実部品に対応するモデル部品の配線引き回しの表現(回路やネットワークなど)、といったものが挙げられる。

【0102】

図12では方法 1200 の有するブロック例を示してはあるが、或る実装においては方法 1200 が、図12に示したものと較べて、追加のブロック、少ない個数のブロック、異なるブロック、もしくは異なって配置されたブロックを有していてもよい。上記の追加的にか代替的に、方法 1200 の有するブロックのうち二種以上を、並列に遂行するようにしてもよい。

【0103】

図6に話を戻すと、電源供給モデル 600 に関して生成された系データシートでは、例えば下記の情報を含むことができると考えられる。すなわち、調整電圧の設定点および追尾誤差(トラッキングエラー)、サポートされる供給電圧範囲、ならびにモデル化された系で発生する熱、といった情報を含めることができるであろう。図13には、モデル 600 の関係する信頼性パラメータを監視する、スコープブロック 615 のスクリーンショット例を示してある。ここでは調整出力電圧 605 が、 $15V \pm 1V$ である必要があると仮定する。スコープブロック 615 は、監視している出力電圧 605 を捕捉して、信号 1310 として表示できる。さらにはTCEを使って、アサーションブロック 611 を作成し、このアサーションブロック 611 の出力電圧が適(コンプライアント)であれば(スコープブロック 615 中で信号 1320 として示したように)「1」という出力をし、さもなくば「0」という出力をできるようにできる。なお適(コンプライアント)であるとは、例えば出力電圧が $15V \pm 1V$ という特定の範囲内に収まっていることを意味する。

【0104】

モデル 600 を、故障のアサーション、信頼性情報(公差、性能定格、動作限界、および故障挙動など)を伴ったモデル部品を含んだものとして仮定すると、TCEを使って実電源のためのデータシートを生成することが可能である。供給電圧 630 で許容される範囲を、反復シミュレーションを使って決定可能である。こうした反復シミュレーションでは、供給電圧 630 を段階的に増してゆき、モデル 600 を実行して、出力電圧 605 が $14 \sim 16V$ の範囲に収まっているかどうかを、「コンプライアント」のアサーションブロック信号 1320 の状態を確認することによって調べることができる。同様に、モデル部品のうちのいずれかがその定めた動作限界から逸脱してしまった場合には、シミュレーションのアサーションを生成して、反復ループにおけるその特定の供給電圧 630 での動作を除外する

10

20

30

40

50

ようにできる。

【 0 1 0 5 】

系から発せられる熱は、記録したシミュレーションパラメータを使った各シミュレーションループから決定可能である。シミュレーションループ中に発熱する部品の各々に関して記録しておいた情報から、電力損失を抽出するにあたり、TCEのコマンドラインに例えれば以下のようなコマンドを入力することが可能である。

```
>>elec_getPowerLossSummary(simlog, 1, 5e-3,3e-3)
answer =
LoggingNode                Power
MOSFET/1 (component 691)   3.5084
MOSFET/2 (component 692)   2.8193
resistor (component 645)   0.021649
D1 (component 693)         2.3347e-06
D2 (component 694)         2.5752e-07
```

10

(上記コマンドを承けての出力に対応する日本語)

```
解 =
記録対象ノード            電力
MOSFET/1 (部品 691)      3.5084
MOSFET/2 (部品 692)      2.8193
抵抗 (部品 645)          0.021649
D1 (部品 693)            2.3347e-06
D2 (部品 694)            2.5752e-07
```

20

【 0 1 0 6 】

上述した解析は、Monte Carloテストの一部として反復してもよい。R部品、L部品、およびC部品では、無作為公差のオプションが有効にされていてもよく、シミュレーションを複数回走らせることで、所望の程度まで確証を得ることができる。あるいは別の手法として、部品の数が少ない場合に、極限的な公差値を適用することで、極限值の組み合わせを取り扱うようにしてもよい。

30

【 0 1 0 7 】

このモデルに基づいて、下記の信頼性情報を含むようにしてデータシートを作成可能であると考えられる。

入力電圧範囲: 20 ~ 50V
出力電圧: 15V ± 1V
昇圧時間: 1msec
消費電力: 7W (5A負荷で駆動した場合)

【 0 1 0 8 】

前述したように、こうした実装では信頼性データシートを下位系もしくは系についても生成することができる。こうしたデータシートには、ありえる故障事例のまとめを、故障の木として含めることが可能である。またこうした実装では、系モデルとシミュレーションを用いて、部品と系の故障確率を算出することもできる。まず、部品の故障を系モデルを探索して識別する。その後、部品の故障事象の各々について、確率情報を部品から抽出する。故障事象が破滅的なものである場合には、解析を終了してもよい。さもなくば、そうした故障をシミュレーション中に適用することで、その次の定常状態を見出すようにもできる。こうした実装では、その後に残りの部品故障を再帰的に、故障の木の枝末端に達するまで行うようにしてもよい。こうしたやりかたで系モデルを活用することで、相関を見極められる。例えば、並列に配された二個のアクチュエーターのうち的一方が故障した場合に、他方のアクチュエーターがより激しく駆動しなくてはならなくなりその故障確率が上昇しているという旨を、モデルが捕捉できるということである。なお、こうした解

40

50

析を行うにあたっては、故障検出アルゴリズムを走らせつつ行ってもよいことを理解されたい。

【 0 1 0 9 】

さて図14に示したIGBT 1410 とワークフロー 1400 を考える。或る実装では、元のデータシート 1415 に対するブロックパラメータ化を自動的に有効にし、且つ得られるデータシート 1425 で生成されたプロット 1420 をユーザーがカスタマイズできるようにしてもよい。生成されたデータシート 1425 中のプロット 1420 に含むことができるものとしては、例えば下記が挙げられる。すなわち、

(a) V_{GE} 値の組についてのI-V特性。

(b) 異なる温度値の組に関しての名目 V_{GE} についてのI-V特性。

(c) ターンオン事象およびターンオフ事象についての V_{GE} 、 I_C 、および V_{CE} を示す時間応答。

(d) 異なる温度値の組についての電流の関数として表される、ターンオン損失およびターンオフ損失。

【 0 1 1 0 】

プロットが規格化されている場合であっても、ユーザーは、軸の範囲およびゲート-エミッタ電圧(V_{GE})と温度の配列を定義可能である。これらを保存し、ユーザーがこれらを再利用もしくは取得することで、データシートを再生成することが可能である。これらの範囲の値をブロック自体に格納することも可能であり、例えば隠しパラメータやpublicパラメータとして格納することができる。隠しパラメータである場合には、データシートの値を閲覧するための手段が、これらの隠しパラメータをユーザーが設定できるようにしてもよい。

【 0 1 1 1 】

或る実装では、或る部品の劣化した挙動が他の部品に与える影響を監視するか、あるいは引き起された系レベルのストレス(モデル部品群に影響する温度上昇など)が特定の部品に与える影響を監視することにより、創発型の故障の発生を予測できる。例示的な方法

1500 を図15に示してある。ブロック 1510 では、TCEを使って実系のモデル(そのモデル部品群の信頼性情報を含む)を受信できる。なおこのモデル自体もまたTCEを使って作られたものであってもよい。上述したように信頼性情報には、性能定格、公差、動作限界、回復可能および/もしくは回復不能な故障動態、確率のおよび/もしくは統計的な故障モード、部品のカスケード故障情報、ならびに/あるいは、創発的な系特性情報などが含まれてよい。ブロック 1520 においては、系レベルでの信頼性を評価するための要求を受信可能である。ブロック 1530 では、閉鎖ループシミュレーションにおいて(おそらくは別個のシミュレーション経路で反復的に)モデルが実行され、その際にモデル部品のうちの一つ以上をその関連する信頼性パラメータから逸脱させるようにする。個別に部品の故障を発生させるようにしてもよいし、あるいは外部刺戟を適用してもよい。そうした外部刺戟としては例えば、極限環境条件やユーザーによる誤使用などがあり、これらはモデル部品群のうちの一つ以上における性能劣化を引き起こすであろうと考えられるものである。部品故障を発動させるにあたっては、(図7A~7C、8A~8C、および9A~9Cと関連する説明にて述べたように)信頼性パラメータを設定して故障機能を有効にし、設定された性能定格もしくはそれに関連する公差を逸脱して、その一つ以上のモデル部品を稼働させることを行うことができる。ブロック 1540 においては、発動された故障および/または系もしくは別の部品の故障挙動につながる外部刺戟の各々について、TCEが故障の木を生成する。この故障の木には、故障した系もしくは他の部品の劣化挙動につながった動作条件が含まれる。また、故障を直接に発動されたわけではない一つ以上の部品の性能への影響を測定可能である。ブロック 1550 では、系レベルの信頼性および/または発動された故障条件の系中の一つ以上のモデル部品への影響についての評価を、TCEが生成する。

【 0 1 1 2 】

図15では方法 1500 の有するブロック例を示してあるが、方法 1500 が、図15に示したものに比して、追加のブロック、より少ない個数のブロック、異なるブロック、または異

10

20

30

40

50

なって配置されたブロックを有するような実装があってもよい。上記の追加的にか代替的に、方法 1500 の有するブロックのうち二個以上を、並列に行うようにしてもよい。

【 0 1 1 3 】

ここで改めて調整された電力供給モデルの例を参照すると、図16に示したように、ここに開示される実装により、故障モードの捕捉が可能となるので、それを用いることでMTBFもしくは他の信頼性レベルを予測する上での困難さを軽減できる。例えば電源 630 が、電圧スパイク（電圧ノイズ）を発生したり、レギュレータの入力における電圧スパイクをもたらしたりする場合には、レギュレータの有するインダクタ（インダクタブロック 640 として表してある）が絶縁破壊される可能性があり、ひいてはそのインダクタの巻線間の短絡が起きうる。インダクタブロック 640（または系モデルがそのように構成されているなら、その故障ブロック 641）が故障状態になる旨のパラメータ化がなされている場合、例えばそれに印加される電圧に40V超のスパイク波形が五回超発生したときを、故障状態であるとする事ができる。あるいは別の手法として、（図9Cに示した）故障機能有効パラメータ 905 を「Yes」に設定することで、特定のシミュレーション時刻をこの故障の切っ掛けとしてもよい。上述した方法を使い30V電源 630 をモデル化するにあたっては、インダクタブロック 631 として表された内部インダクタンス（Ls）を有するものとしてモデル化できる。このインダクタブロック 631 に印加される電圧は、図17にスコープブロック 615 のスクリーンショット 1700 として示したように、周期的に40V超のスパイク波形を発生する。

【 0 1 1 4 】

インダクタ 640 が故障して、例えば巻線のうちの最初の25%を短絡で失ったとすると、それでも系全体はまだ正常に動作する（つまり、この故障を初期化した後でも、図18のコンプライアント信号 1800 がまだ「1」のままである）。しかしながらこの故障がMOSFET 691 およびMOSFET 692 に影響を及ぼして、これらの消費電力が増大していることを、電力解析機能の出力から伺うことができる。さてここでTCEのコマンドラインから再び抽出コマンドを実行して、シミュレーションループ中に発熱する部品の各々に関して記録しておいた情報をあらためて抽出してみよう。

```
>>elec_getPowerLossSummary(simlog, 1, 5e-3,2e-3)
answer =
LoggingNode          Power
MOSFET/1 (component 691)  13.666
MOSFET/2 (component 692)  0.96824
resistor (component 645)  0.019079
D1 (component 693)       0.082716
D2 (component 694)       0.0070653
```

（上記コマンドを承けての出力に対応する日本語）

```
解 =
記録対象ノード      電力
MOSFET/1 (部品 691)  13.666
MOSFET/2 (部品 692)  0.96824
抵抗 (部品 645)     0.019079
D1 (部品 693)       0.082716
D2 (部品 694)       0.0070653
```

【 0 1 1 5 】

MOSFET_1の消費電力が、3.5ワットから13.7ワットに増えているのがわかる。このことがこのMOSFETのMTBFに影響し、やがて来たる破滅的な故障の発生確率を上げる。また、温度が最大値を超過した際には、決定論的な故障を直接にもたらしうる。

【 0 1 1 6 】

故障の木解析の文脈では、インダクタブロック 640 の故障群は、例えば下記のカテゴリに含まれる。すなわち、

(1) 即座に系の破綻につながるもの。例えばインダクタが開回路になってしまうこと

(2) 直接に系の破綻につながるわけではないが、他の部品をより故障しやすくする（故障間隔を短くする）もの。

(3) 直接に系の破綻につながるわけではないが、（例えば昇温によって）他の部品に決定論的な故障をもたらすもの。

【 0 1 1 7 】

故障可能な部品モデルを使うことで、こうした故障モードをより簡便に探索できるようになる。或る実装では、このようなモデルを使って故障の木を自動的に構築可能である。また或る実装における故障の木を生成する方法（図15でブロック 1540 として示したようなもの）には、下記の工程が含まれる。すなわち、

(a) モデルを探索することでモデル化された故障の一覧(F)を見出すこと。各モデル部品は、複数種の故障型を有していてもよく、例えばインダクタが故障する場合に、開回路、巻線減少、副次的な巻線減少などで故障するようになっていてもよい。

(b) 一覧中の要素 F_j の各々を順に発動し、系の故障を監視すること（ここで言う故障とは、直ちに故障することか、決定論的に連鎖（ロックオン）故障することかのいずれかを意味する）。

(i) 系が故障する場合、この故障条件を保存し、F中の次の要素に移る。

(ii) 系が故障しない場合、適用した故障はそのままに、再帰的に故障適用する。 F_j , $j \rightarrow i$

【 0 1 1 8 】

こうした結果は、部品故障、もしくは系の破綻につながる故障の組み合わせのリストの一覧としてまとめることができ、この情報を故障の木で表すこともできると考えられる。そうした故障の木を、各モデル部品のそれぞれにおけるMTBFもしくは故障率分布に関する情報と組み合わせることによって、系全体の信頼性レベルを判断することもできるし、および/または系レベルのデータシートの生成を行うことも可能となる。

【 0 1 1 9 】

或る実装においては、シミュレーション中のモデルを実行するためのTCEを用いて、故障確率を生成してもよい。例えばこうした処理方法を、モデルを探索してモデル部品の故障を識別することから始めてもよい。その後確率情報を、各故障事象について関連するモデル部品から抽出できる。故障事象が系にとって破滅的である場合には、処理を停止する。さもなければ、その故障を適用しつつシミュレーションを継続して、系の動的挙動が取る次の定常状態を見出すようにする。残りの部品故障を用いて再帰的ループを、故障の木の枝末端に達するまで続ける。系破綻条件の結果の組から、系レベルの故障の木を作り出す。このような方法によって、系に固有のカスケード故障に関する情報や、および/または直ちに明らかではない類（経時につれて顕れてくるなど）の故障モードを示すことができる。また外部的な因子もしくは条件も適用可能であり、例えば環境的条件、人間による誤使用（フライト物理シミュレーターにおけるパイロットの誤りなど）、電磁気などを適用可能である。したがって、こうしたモデルを相関の見極めのために使うことも可能であり、例えば、並行なアクチュエータ二個のうち的一方が故障するという場合に、そのモデルを用いたシミュレーションによって、他方のアクチュエータがより激しい稼動を強いられて、故障確率が上昇してしまっているということを見極めることができる。

【 0 1 2 0 】

[VII. 系のモデル化の例]

【 0 1 2 1 】

本明細書中に記載された方法およびシステムの実装は、既に述べたとおり、多数の分野に亘る用途に対して適用可能である。そうした用途分野のうちのほんの少しとして、電気機械的且つ「サイバー系」な製品、自動車/陸上輸送用の部品および移動体、航空・宇宙

10

20

30

40

50

用の部品および移動体、ならびに配電網の信頼性 / 可用性といったものが挙げられる。

【 0 1 2 2 】

[用途例1: 配電網のモデル化]

モデルから要求されること:

負荷が基準を満たすか / 計画されているかについての調査。

スケジューリングアルゴリズムの検証。

系の安定性の提示。

送達のために系モデルが必要とすること:

名目モデル (事業者、負荷、および分布など)

故障モード (故障箇所、動態など)

故障確率 (事業者、負荷、および網など)

制御アルゴリズム

10

【 0 1 2 3 】

[用途例2: ハンドドライヤー]

信頼性 (RL) 要件:

RL1: ユニットの発火確率が、一時間毎 $1e^{-9}$ 。

RL2: ユニットが定格の送風を行えなくなる確率が、一時間毎 $1e^{-4}$ 。

RL3: ユニットが完全に故障する (送風不能になる) 確率が、一時間毎 $1e^{-5}$ 。

なおRL1については、ユニットが別の故障 (一個の巻線が故障し、元のRPM / 送風量を届けようとして残りの二個の巻線とパワーエレクトロニクスが激しく稼働しているなど) の後

20

も運転されていたという場合を考慮している。

分析では、すべてのモデル部品についての公差 (抵抗値についての公差など) を考慮に入れてある。

【表 2】

故障	故障の型	依存/連鎖作用	
外部主電力の電圧低下	開始時の周波数、期間、および値の分布に関して統計的		
外部主電力の電圧サージ（急上昇）	開始時の周波数、期間、および値の分布に関して統計的		10
AC ヒューズ	決定論的	電流/時間の組み合わせ。以前の「故障になりかけ」の事象履歴に基づいて負荷軽減が可能。	
抵抗開回路	決定論的且つ統計的	決定論的故障は電流/時間/温度に依存。 故障確率を、定格電力に近い状態で稼働させている場合に上げる必要がある場合あり。	20
モーターベアリング故障	統計的	Back EMF(逆起電力)が落ちるので電流が大きくなり、IGBT に掛かる負荷が増大。	
機械的故障により 3 つの巻線のうちの 1 つが開回路に	統計的	トルクのバランスが崩れ、ベアリングへのストレスとなる。残りの 2 つの巻線がより激しい稼働を強いられる。モーターが始動する際に、トルクが無い条件か、トルクが開始時回転には足りないような条件になってしまう可能性あり。	30
1 つの巻線の一部が短絡	決定論的(電圧スパイクによって絶縁破壊の条件が生じる)且つ統計的(絶縁破壊)	分離された巻線が、比率と高い誘起電流によって熱せられる→銅が溶断→隣接する巻線ごと持っていかれてしまうか、および/または接地故障を起こす。	40
接地故障	統計的		

【 0 1 2 4 】

[用途例3: 異種ドメイン系のモデル例]

【 0 1 2 5 】

より包括的な異種ドメインモデル 1900 を（医療用などの）安全重視なポンプを表現するものとして、図19に描いてある。販売元が、外部DC電源 1910 で駆動し且つポンプ 1915 を提供するようなユニットを用意する立場であると考えていい。なおこのポンプ 1915

は、注入管 1920 から排出管 1925 への流量（名目値に許容される範囲を足したもの）を決めているものである。ポンプ 1915 は、動作条件（DC電源電圧範囲、周囲温度、流体接続部に跨って観察される圧力差）の組に則って稼動するのが典型的であって、何らかの仔細の定まった信頼性レベル（MTBFなど）を達成するものであると考えることができる。

【 0 1 2 6 】

販売元は、余分にあるモーター 1930 を具えた構成を設計することを望んでもよく、例えば一方が故障することを考えて二個のモーターがあるような構成の設計にしてもよい。ここで K_1 と K_2 は、モーター 1930 のためのフィードバック制御手段（帰還制御手段）を表わしている。このフィードバック制御手段 K_1 、 K_2 が、電流制御内側ループおよび速度制御外側ループを含んでいてもよい。モーターシャフト 1940A, 1940B の各々から出ている線 1935A, 1935B は、シャフト速度の測定を意味している。フィードバック制御手段 K_1 、 K_2 によって、例えば余分にあるモーター 1930 のうちの一方が故障して、ポンプ流量を維持するために他方のモーターがより激しく駆動するであろうことを確認できる。販売元がさらに、比較を目的として、二個のモーターと二個の直列接続されたポンプを具える他の構成の評価を希望することもあるだろう。

【 0 1 2 7 】

さて販売元は、主要部品（モーター、コントローラー、ギアボックス、ポンプなど）のそれぞれについての情報をその部品の供給元から得られたデータシートの形態で持っているとしよう。例えば以下のようにである。

[モーターのデータシート情報]

1. 定格電源電圧：3ボルト
2. トルク定数： 10^{-4} Nm/A、公差 $\pm 5\%$
3. 名目抵抗：5オーム（摂氏25度）、公差 $\pm 5\%$
4. 抵抗温度係数：0.004/K
5. 電力定格：2ワット（摂氏70度以下）、ゼロ（摂氏150度）
6. 最大巻線電流：2A、この電流によって開回路になってしまう故障に至るまでにかかる時間：10秒
7. 巻線サーマルマス：200 J/K
8. 巻線の機械的な故障に至るまでの平均時間（mean time between failures; MTBF）： 10^5 時間

[ギアボックスのデータシート情報]

1. 中心歯車と遊星歯車の比：5
2. 中心歯車の最大トルク：0.1 Nm
3. 機械的な故障に至るまでのMTBF： 10^5 時間

[ポンプのデータシート情報]

1. 排出量： $10 \text{ cm}^3/\text{rev}$
2. 名目速度：200 rpm
3. 機械的な故障に至るまでのMTBF： 10^5 時間

【 0 1 2 8 】

モデル 1900 のための情報を捕捉することに関して、モーターの信頼性情報（上記の3、4、5、6、および7番）を、上述したように抵抗ブロックによって（ライブラリなどから）提供することができる。モーターのデータパラメータ（上記の1番と2番）は、DCモーターライブラリブロックへの拡張（エクステンション）を使うこともでき、これは抵抗ブロックのそれと似た手法である。またモーターのデータパラメータ（上記の8番のMTBF）も、抵抗ブロック中で捕捉可能である。抵抗ブロックに関して延べたものと類似するライブラリブロック拡張を、ギア（歯車）ライブラリブロックおよび流体ポンプブロックの部品モデルに関して適用することで、動作限界（中心歯車の最大トルクなど）およびMTBF情報

を捕捉できる。

【0129】

(追跡管理を目的として)モデル部品を関連するデータシートへとリンクするコールバック機能を、各モデル部品に関連づけられたモデル部品GUIもしくはダイアログボックス上で提供することも可能である。この機能により、元の部品データシートを開く動作を行ってもよい。

【0130】

或る実施形態における決定論的な故障と依存関係の処理に関しては、おそらくは故障をもたらすであろう依存関係についても考慮をすることができる。そうした依存関係としては下記が含まれる。

(a) 二個のモーター(トルク定数とそれに関連する公差)とポンプトルク(最悪状況での圧力差と摩擦)の組み合わせにより、ギアボックスが最大トルクを超過してしまうかどうか。

(b) 全ての部品から生じる熱により、二個のモーターのいずれかにおいて動作限界を超過してしまうことになるかどうか。

(c) 過渡的条件もしくは定常状態によって、巻線電流が2A限界を10秒間に亘って超過する結果をもたらすと判断できるかどうか。

すべての相関する部品データが捕捉され且つ関連する実施方程式が定められているので、異なる極限外部条件(電源電圧、電源変動、ポンプ圧力降下、周囲温度)を以って系モデルをシミュレートすることにより、上記の問いの解を得ることが可能である。自動化したスクリプトを使ってシミュレーションを仕込むこともできる。

【0131】

当該実施形態における統計的な故障と依存関係の処理に関しては、スクリプトを使って系モデルをMTBF情報を有する任意の部品について探索することが可能である。この例ではそうした情報を持つものとして二個のモーターとギアボックスとポンプがある。各故障を(例えば抵抗部品ブロックで設定した特定の時刻において)発動させて、ポンプが指定の流量を届けられるのかを判断するように系モデルを実行できる。系が破綻する場合には、これを故障の木の端点(end node)とする。系が破綻しない場合には、部品故障を維持しつつ他の部品がその後故障する可能性があるということを、各時刻について再シミュレートできる。こうしたやりかたで、系モデルから故障の木の構築できるわけである。余分のある設計のうちの一つのモーターが故障する場合、その系自体はまだ要求流量を届けられるので破綻していないということもありえる。しかしながら、残った方のモーターはより激しく稼働せねばならず、決定論的に故障する可能性を持つ。設計が正しければ、その後も第二のモーターは故障はしないが、第二のモーターが激しく稼働するのでMTBFが縮んでしまう。モーターの供給元が、負荷の関数としてMTBFに関する情報を有している場合には、この情報を使って故障の木のためにより正確な故障確率を得ることが可能である。

【0132】

通過変数と横断変数の積が電力になるという網アプローチ(ネットワークアプローチ)を利用しているので、スクリプトを使って全体の電力を算出することも可能である。こうすることにより、最悪状況での電力要件に関する情報を得て、安全重視なポンプ系に関するデータシート生成に供することができる。

【0133】

上述した動作は、例示的な系のための出力となって表わされ、安全重視なポンプ系全体のデータシート内に捕捉可能である。これを作る際にはレポート生成機能を使ってもよい。そうしたレポートの第一の節では、追跡管理のため、元の供給元のデータシートへ辿り返すハイパーリンクを添えた部品の一覧を記載できる。レポートの後続の節では、決定論的故障、故障の木、導出された動作限界、および他の要件(電力など)を報告する。

【0134】

[VIII. 結論]

【0135】

10

20

30

40

50

上記した実施についての説明では、図面と説明が提供されていたが、これは当該実施を、その開示された儘の形態で尽くそうとするものでも無いし、その形態に限定しようというものでも無い。上述した教示に照らして修正や変形をすることも可能であるし、あるいは実施する上での都合で修正や変形を要することもありうる。

【0136】

上述したように態様例は、図面に示した実装のように、多様な異なるソフトウェア、ファームウェア、およびハードウェアの形態として実施可能である。これらの態様を実施するにあたり用いられた実際のソフトウェアコードもしくは特殊な制御ハードウェアは、限定を企図するものではないことを理解すべきである。つまり、これらの態様の動作および挙動は、特定のソフトウェアコードを参照することなく記載したものであり、本明細書の記載に基づいて、これらの態様を実施するようにソフトウェアと制御ハードウェアを設計可能であるのだということを理解されたい。

10

【0137】

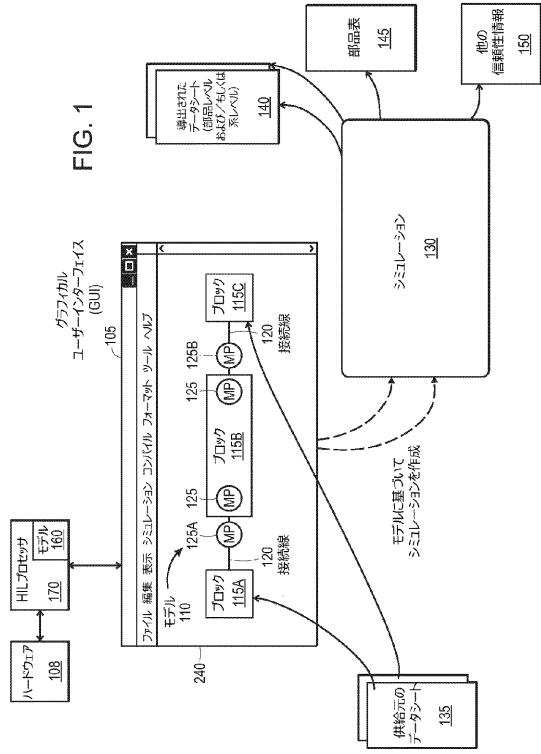
特徴の特定の組み合わせが、特許請求の範囲において引用され、および/または明細書で開示されてはいるが、これらの組み合わせは本実施の開示を限定しようとするものではない。事実これらの特徴の大部分は、特許請求の範囲において特段に引用されている手法および/または明細書に開示されている手法では無い手法を以って、組み合わせることが可能なのである。以下で列挙する従属請求項の各々は、別のひとつの請求項にだけ直接従属してはいるが、本実施の開示は、各従属請求項が特許請求の範囲に記載された他の請求項のすべてと組み合わせられた態様をも包含するものである。

20

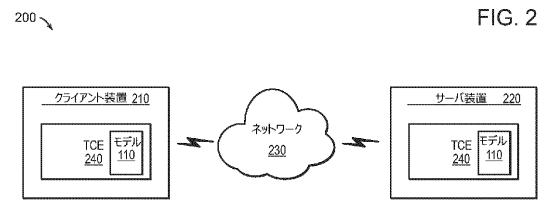
【0138】

本出願中で使用された要素、行為、または命令のいずれも、別段の断わりが無い限りは、実施にとり重大もしくは不可欠なものとして解釈されるべきでは無い。また本明細書における使用では、冠詞「a」（或る）は単複の品目を含むことを企図してのものである。唯ひとつだけの品目を企図する場合には、「one」（ひとつの）のような文言を使用する。さらに、「based on」（...に基づく、...ベースの）なる語は、別段の断わりが無い限りは、「based, at least in part, on」（少なくとも一部は...に基づく）という意味であることを企図している。

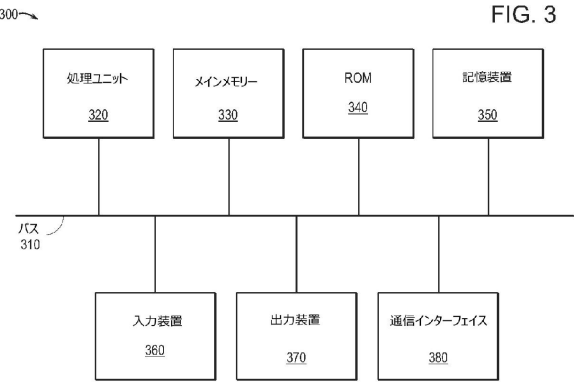
【図1】



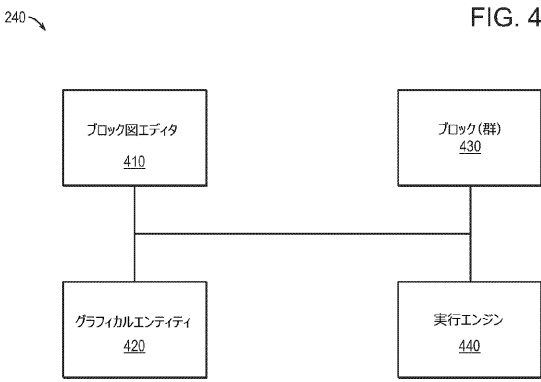
【図2】



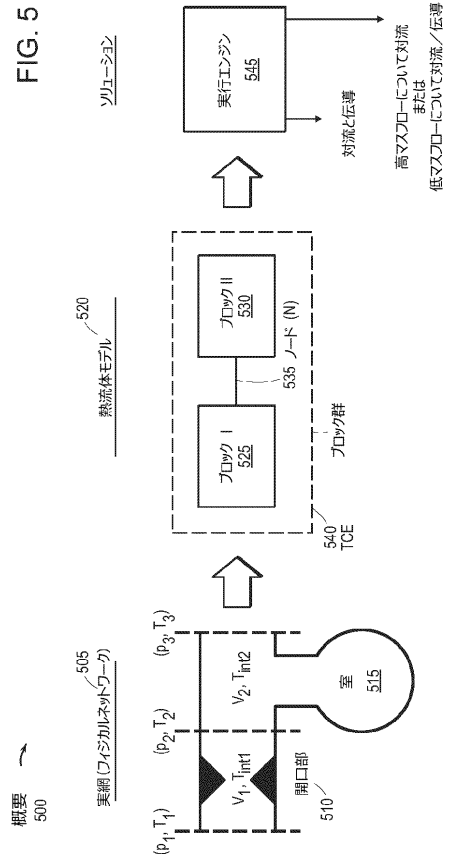
【図3】



【図4】



【図5】



【 図 6 】

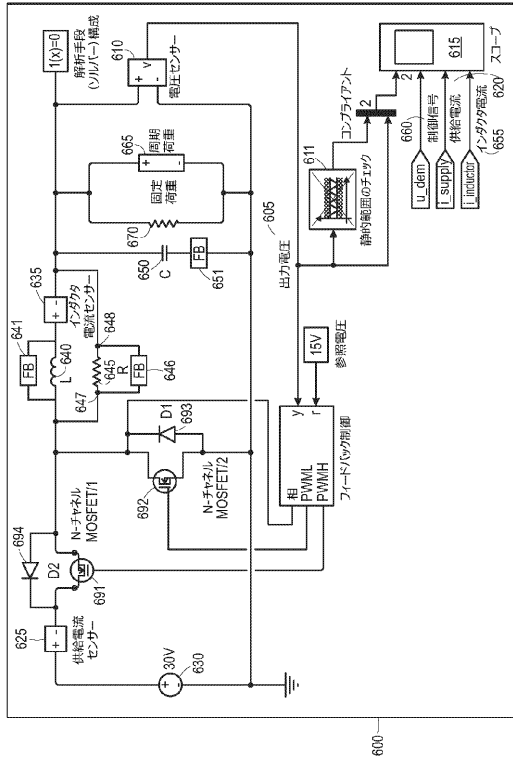


FIG. 6

【 図 7 A 】

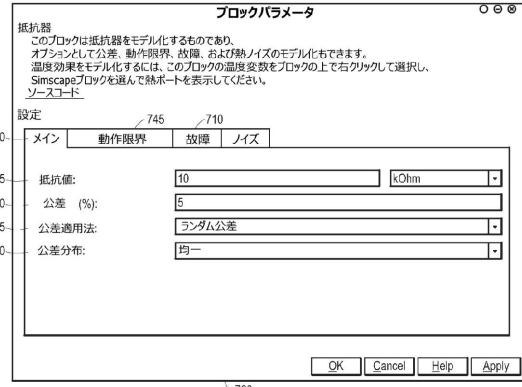
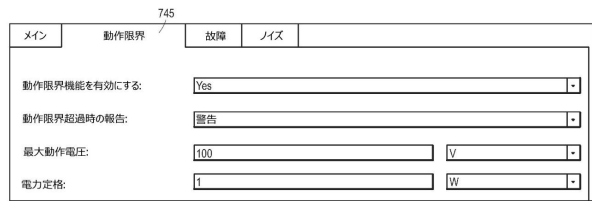


FIG. 7A

抵抗器のパラメータ化

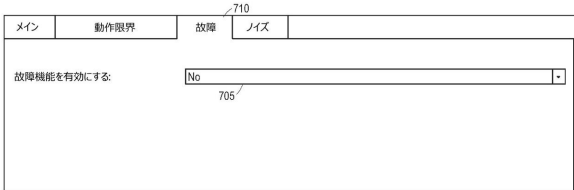
【 図 7 B 】

FIG. 7B



【 図 7 C 】

FIG. 7C



【 図 7 D 】



FIG. 7D

【 図 8 A 】

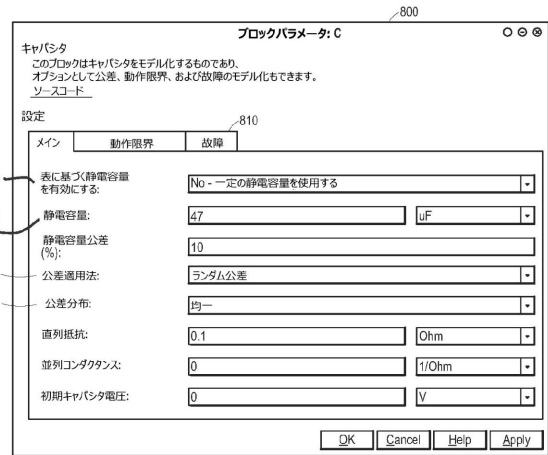


FIG. 8A

キャパシタのパラメータ化

【 図 8 B 】

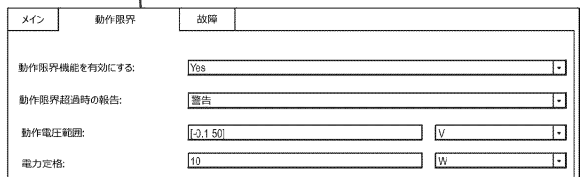


FIG. 8B

【 8 C 】

810

メイン	動作限界	故障
故障機能を有効にする: No		

FIG. 8C

【 9 A 】

900

インダクタ
このブロックはインダクタをモデル化するものであり、オプションとして公差、動作限界、および故障のモデル化もできます。
ソースコード

設定

メイン	動作限界	故障
インダクタンス:	0.5e-3	H
公差 (%) :	20	
公差選用法:	ランダム公差	
公差分布:	均一	
直列抵抗:	0.02	Ohm
並列コンダクタンス:	0	1/Ohm
初期インダクタ電流:	0	A

OK Cancel Help Apply

インダクタのパラメータ化

FIG. 9A

【 9 B 】

メイン	動作限界	故障
動作限界機能を有効にする:	Yes	
動作限界超過時の報告:	警告	
飽和電流:	10	A
電力定格:	20	W

FIG. 9B

【 9 C 】

905

メイン	動作限界	故障
故障機能を有効にする:	Yes	
故障発生時の報告:	警告	
故障ノードの位置 (負極からの全巻線数に対する%) :	25	
故障した際の結合係数:	0.9	
巻線が短絡する先:	負極	
故障ノードでの開回路:	No	
接地故障:	No	
故障遷移時定数:	1e-4	s
一時的な故障トリガーを有効にする:	No	
行動的故障トリガーを有効にする:	Yes	
最大許容電圧:	40	V
電圧超過時の故障事象の数:	5	
最大許容電流:	10	A
電流超過時に故障するまでに掛かる時間:	1e-5	s

FIG. 9C

【 1 0 】

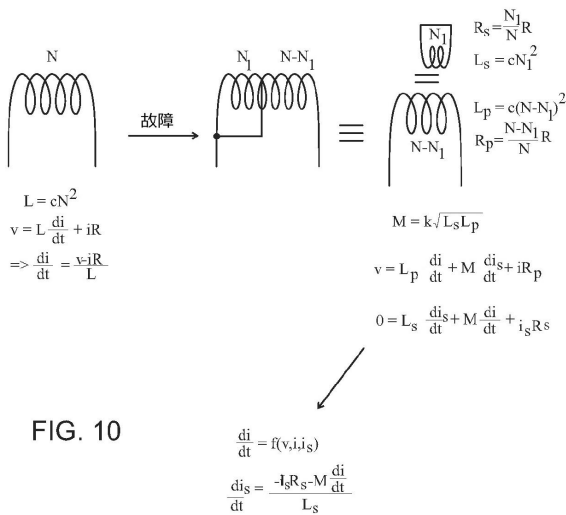


FIG. 10

【 1 1 】

キャパシタの様式	故障モードの相対確率	
	開回路	短絡
雲母/樹脂	13	72
紙	37	63
プラスチック	42	40
セラミック	22	49
タンタル、チップ	32	57
タンタル、電解質	17	68
アルミニウム、電解質	35	53
可変ピストン	10	30
		10

FIG. 11

【 図 1 2 】

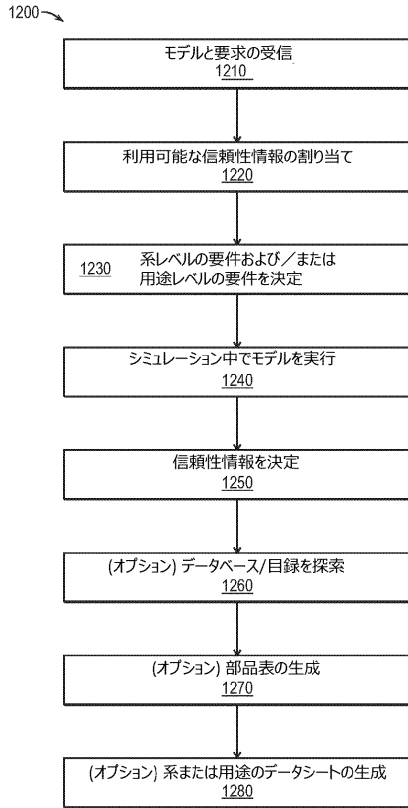


FIG. 12

【 図 1 3 】

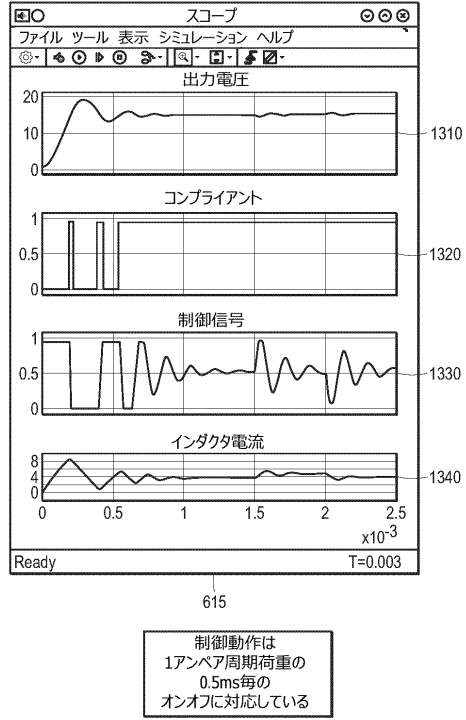


FIG. 13

【 図 1 4 】

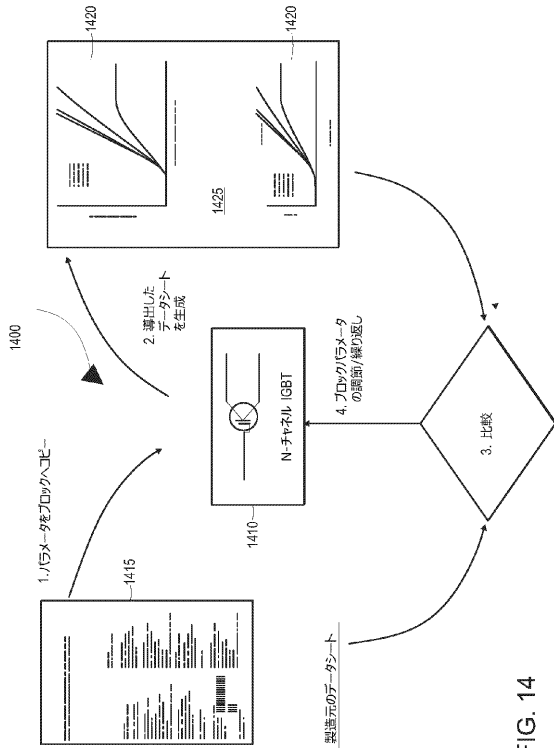
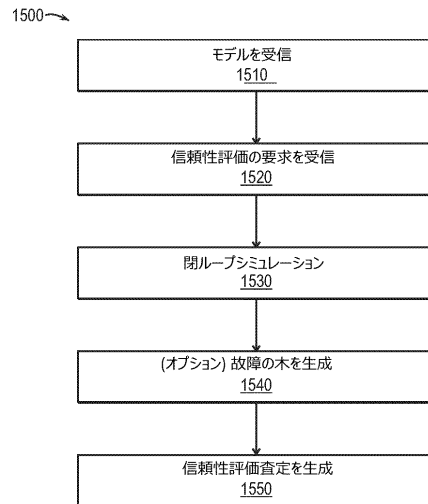


FIG. 14

【 図 1 5 】

FIG. 15



フロントページの続き

(72)発明者 リチャード・ハイド
イギリス国ブリストル、ホープデール

審査官 合田 幸裕

(56)参考文献 特開2009-295007(JP,A)
米国特許出願公開第2003/0004679(US,A1)
特開2002-149714(JP,A)
特開2014-241065(JP,A)
特開2003-167930(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50
IEEE Xplore
JSTPlus(JDreamIII)