

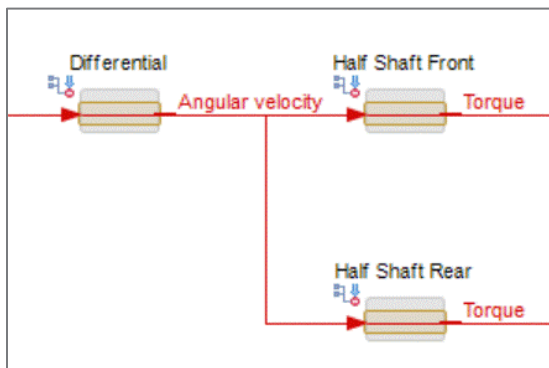
<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

故障シミュレーションでは、FCM(Fuzzy Cognitive Maps: ファジー認知マップ)を使用して、システムの故障の伝播を確認することができます。

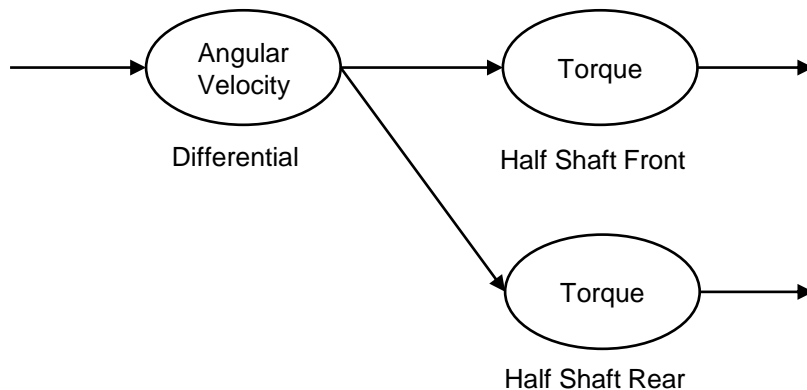
FCMとは、複数の概念の因果関係をノードと有向グラフでモデル化したものです。

MADeの場合、フロープロパティをノードとしてモデル化しています。

MADeモデル



MADeモデルのFCM表示



<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

故障シミュレーションでは、フロープロパティの値を以下のように計算します。

$$A^{t-1}W + P = A^t$$

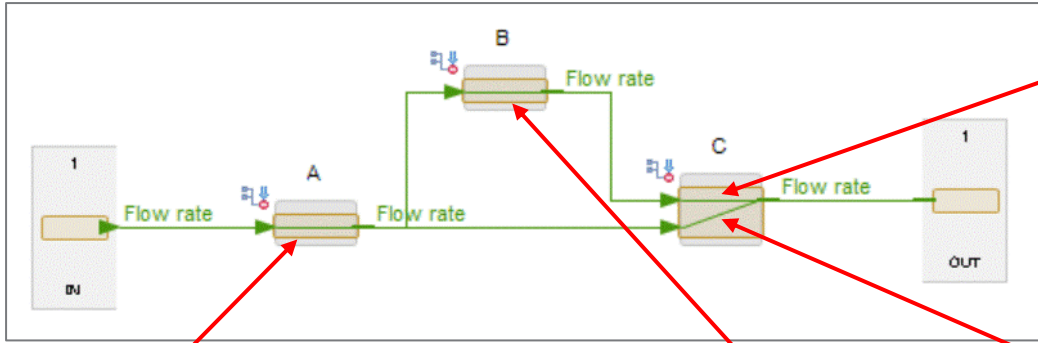
- A^{t-1} 前のステップにおけるシステム状態ベクトルです。解析の最初のステップでは、 $A^{t-1}=A^0$ 。 A^0 はシステムの初期状態を表します(解析開始時の各フロープロパティの値)。(Step Table)
- W システム内のフロープロパティ間の相互接続をすべて表す重み行列です。(Causal Strength)
- P システムでのフロープロパティに対する永続的な変更または逸脱を示す摂動ベクトルです。(Failure Injection Value)
- A^t ステップの後におけるフロープロパティの値を表すシステム状態ベクトルです。(Next Step Table)

※注

- ・実際の故障シミュレーションにおいては、システムの初期状態の値は0であることがほとんどであるため、 $A^0 = \mathbf{0}$ となります。
- ・重み行列 W は、コンポーネントのフロープロパティのコネクタで設定されるCausal StrengthやPolarityから算出されます。
- ・摂動ベクトル P は、Failure Injectionで設定されます。

<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

以下のモデルを例として、故障シミュレーションを行います。



Properties >> Problems
=> Flow rate -> Flow rate

General

Source: Transfer Input Flow rate (A)

Target: Transfer A Flow rate (A)

Function: Transfer

Polarity: Positive Negative

Response Filter: No Filter

Acausal

Causal Strength: 10.00

Properties >> Problems
=> Flow rate -> Flow rate

General

Source: Transfer A Flow rate (B)

Target: Transfer B Flow rate (B)

Function: Transfer

Polarity: Positive Negative

Response Filter: No Filter

Acausal

Causal Strength: 10.00

Properties >> Problems
=> Flow rate -> Flow rate

General

Source: Transfer B Flow rate (C)

Target: Transfer C Flow rate (C)

Function: Transfer

Polarity: Positive Negative

Response Filter: No Filter

Acausal

Causal Strength: 5.00

Properties >> Problems
=> Flow rate -> Flow rate

General

Source: Transfer A Flow rate (C)

Target: Transfer C Flow rate (C)

Function: Transfer

Polarity: Positive Negative

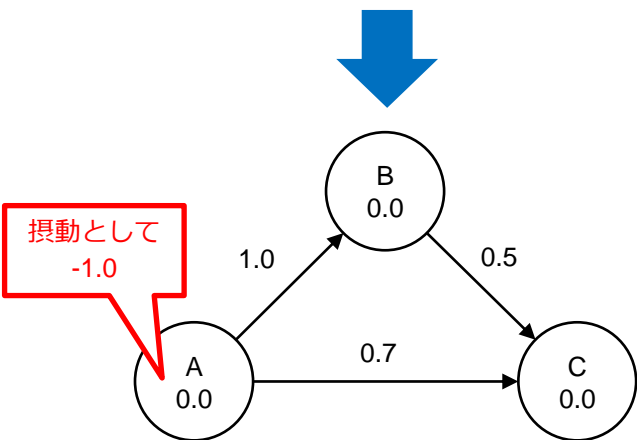
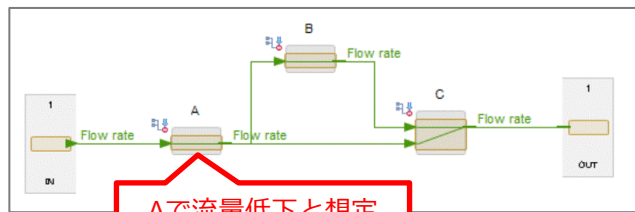
Response Filter: No Filter

Acausal

Causal Strength: 7.00

<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

以下は、故障シミュレーションの計算結果です。



$$1. \quad W = \begin{bmatrix} AA & AB & AC \\ BA & BB & BC \\ CA & CB & CC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$2. \quad A^0 = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.0]$$

$$3. \quad P = [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] \text{ (Aで流量が低下したため)}$$

$$4. \quad A^1 = A^0 W + P = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.0] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] = [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0]$$

$$5. \quad A^2 = A^1 W + P = [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] = [-1.0 \quad -1.0 \quad -0.7]$$

$$6. \quad A^3 = A^2 W + P = [-1.0 \quad -1.0 \quad -0.7] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] = [-1.0 \quad -1.0 \quad -1.2]$$

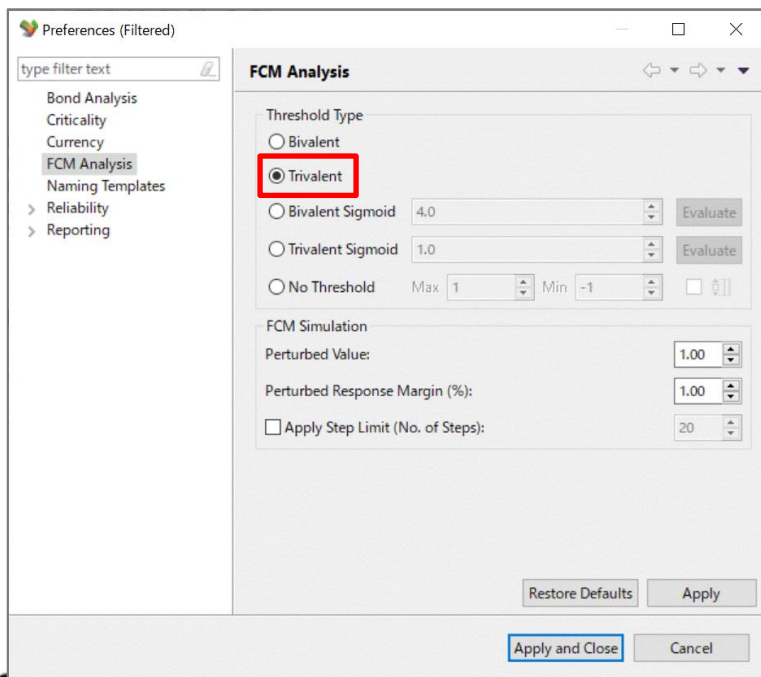
$$7. \quad A^4 = A^3 W + P = [-1.0 \quad -1.0 \quad -1.2] \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + [-1.0 \quad 0.0 \quad 0.0] = [-1.0 \quad -1.0 \quad -1.2]$$

シミュレーションは最終値[-1.0 -1.0 -1.2]で均衡に到達します。

※ 均衡は、2つの連続するシステム状態ベクトルが等しくなる状態と定義されています。

<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

閾値設定では、故障シミュレーションで計算されたフロープロパティの値の1ステップごとの切り上げ・切り捨てを管理します。以下に使用頻度の高い閾値設定の特徴をまとめました。



閾値のタイプ	計算結果の切り上げ・切り捨て方法
Trivalent	<p>フロープロパティの値は以下のように計算します。</p> $f[A^{t-1}W + P] = A^t$ $f(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x = 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$ <p>故障が発生するかどうかを確認するだけであれば問題ありません。ただし、故障の挙動が細かく表現できないので、故障シミュレーションが収束しないことがあります。</p>

<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

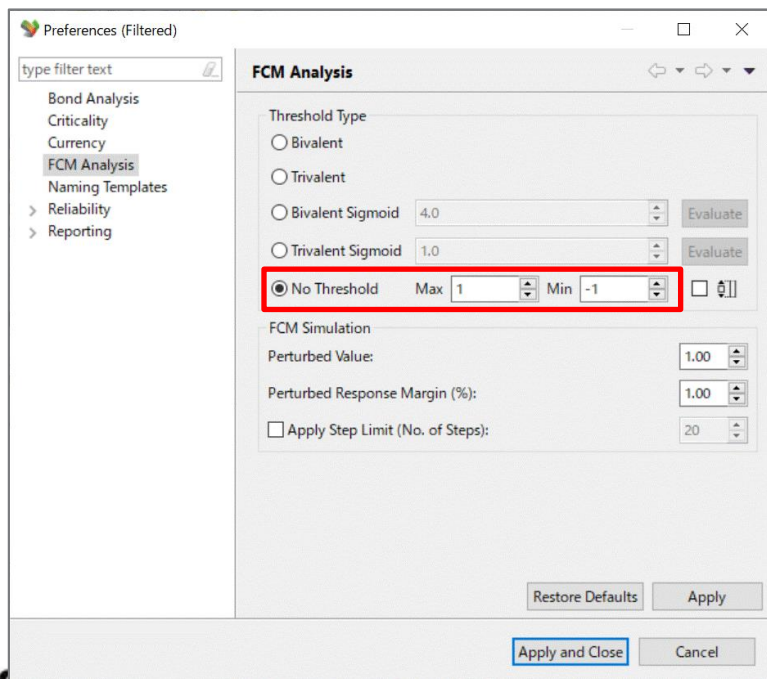
閾値設定では、故障シミュレーションで計算されたフロープロパティの値の1ステップごとの切り上げ・切り捨てを管理します。以下に使用頻度の高い閾値設定の特徴をまとめました。（続き）

The image shows two overlapping windows from a software application. The top window is titled 'Preferences (Filtered)' and contains the 'FCM Analysis' section. Under 'Threshold Type', the 'Trivalent Sigmoid' option is selected and highlighted with a red box. Below it, a numerical input field shows '1.0', also highlighted with a red box. To the right of this field is an 'Evaluate' button, also highlighted with a red box. The bottom window is titled 'FCM - Trivalent Sigmoid Chart' and displays a graph with 'Returned value' on the y-axis (ranging from -1.0 to 1.0) and 'Input value' on the x-axis (ranging from -2.0 to 2.0). A red sigmoid curve is plotted, and a horizontal red line is drawn at y = 0.762. Below the graph, there is a 'Set Sigmoid Threshold' section with a slider and a text input field containing '1.0'. A red box highlights this section, with a red arrow pointing from the 'Evaluate' button in the preferences window to the slider. A red label 'シグモイド閾値' is placed next to the slider.

閾値のタイプ	計算結果の切り上げ・切り捨て方法
Trivalent Sigmoid	<p>フロープロパティの値は下記のシグモイド関数に従って計算します。</p> $f[A^{t-1}W + P] = A^t$ $f(x) = \tanh(\lambda x) = \frac{e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}}{e^{\lambda x} + e^{-\lambda x}}$ <p>λ : シグモイド閾値</p> <p>シグモイド閾値を小さくすると、フロープロパティの値に対する変換値が小さくなります。これを利用して、一定のエネルギー損失がある場合の故障の挙動を細かく表現することができます。一般的に、シグモイド閾値は0.8や1.0を設定します。</p>

<WF1-5-1-1> 故障伝播の閾値について

閾値設定では、故障シミュレーションで計算されたフロープロパティの値の1ステップごとの切り上げ・切り捨てを管理します。以下に使用頻度の高い閾値設定の特徴をまとめました。（続き）



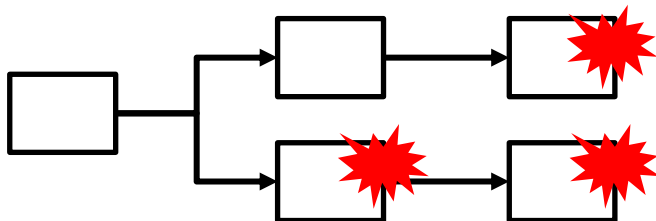
閾値のタイプ	計算結果の切り上げ・切り捨て方法
No Threshold	<p>フロープロパティの値は以下のように計算します。</p> $f[A^{t-1}W + P] = A^t$ $f(x) = \begin{cases} Max & (x > Max) \\ x & (Min \leq x \leq Max) \\ Min & (x < Min) \end{cases}$ <p><i>Max</i> : Maxで設定した値 <i>Min</i> : Minで設定した値</p> <p>フロープロパティの値がMaxとMinの範囲内であれば、変換せずに出力します。これを利用して、エネルギー損失が無視できる場合の故障の挙動を細かく表現することができます。一般的に、MaxとMinの数値は1, -1を設定します。</p>

<WF1-5-1-3> Step Tableでの故障の伝播の不具合について

Step Tableにおいて、以下のような故障の伝播が確認された場合、対応が必要になります。

確認された故障の伝播	原因	対応方法
想定していない故障が発生した	アイテム間のフローが正しく接続されていない	アイテム間のフローを見直します。以下のワークフローを参照してください。 <ul style="list-style-type: none">・ <WF1-2-1> システムのモデルを作成する・ <WF1-2-2> サブシステムを作成する
	コンポーネントのフローの関係性に誤りがある	コンポーネントのフローの関係性を見直します。以下のワークフローを参照してください。 <ul style="list-style-type: none">・ <WF1-2-3> コンポーネントを作成する

<想定していない故障の発生イメージ>



<WF1-5-1-3> Step Tableでの故障の伝播の不具合について

Step Tableにおいて、以下のような故障の伝播が確認された場合、対応が必要になります。（続き）

確認された故障の伝播	原因	対応方法
故障の伝播が途中で消える	コンポーネントにおけるフローのCausal Strengthが適切でない	コンポーネントのフローのCausal Strengthを見直します。以下のワークフローを参照してください。 ・ <WF1-2-3> コンポーネントを作成する
	故障シミュレーションの閾値設定が適切でない	閾値設定を見直します。以下のワークフローを参照してください。 ・ <WF1-5-1-1> プリファレンスで故障伝播の閾値を設定する

<故障の伝播の消失イメージ>



<WF1-5-1-4> Response Simulationでの故障の挙動の不具合について

Response Simulationにおいて、以下のような故障の挙動が確認された場合、対応が必要になります。

確認された故障の挙動	原因	対応方法
故障の挙動が収束しない (例として、ステップごとの故障の挙動がHigh, Lowを繰り返し続ける場合など)	コンポーネントにおけるフローのCausal Strengthが適切でない	コンポーネントのフローのCausal Strengthを見直します。以下のワークフローを参照してください。 ・ <WF1-2-3> コンポーネントを作成する
	故障シミュレーションの閾値設定が適切でない	閾値設定を見直します。以下のワークフローを参照してください。 ・ <WF1-5-1-1> プリファレンスで故障伝播の閾値を設定する

<故障の挙動が収束しないイメージ>

