

事例 5

トヨタ自動車における FTA システムの機能と特徴

トヨタ自動車
吉村達彦 多田直弘

1. はじめに

FTA(Fault Tree Analysis)は、問題の原因解析手法である。あるいは、システムや機器の信頼性及び安全性の図式解析手法という捉え方も可能である。

システムや機器の動作中に生じた好ましくない事象(トップ事象)を頂上において、その事象が生ずるための一次要因、二次要因及びそれ以下の要因を展開し、これ以上の要因はないという事象まで展開する。これらの要因どうしを論理記号で結合する。この様にして、好ましくない事象を頂上においた、特性要因図の様な図が出来上がる。ちょうどヒマラヤ杉の形に似ているので、これを FT 図(Fault Tree Diagram)と呼び、FT 図を作成して解析するので FTA という。

FT 図は特性要因図の信頼性版とも言えるが、要因の上下関係が、故障の因果関係に、また、要因どうしが論理記号で結ばれている点異なる。

以上が FTA の概要だが、この度、FT 図作成の手間を省き、気軽に FTA を実施するために、パソコン用ソフトを開発したので、その主な特徴などを紹介する。

2. FTA ソフトの位置づけ

現在まで当社の製品が市場から非常に好意的に受け取られてきたのは、その信頼性の高さが大きな要因の一つと考えられる。この信頼性を、更に向上させるために、未然防止活動を強力に進めている。この活動の柱として、FMEA を使ったデザインレビュー (DRBFM, Design Review Based on Failure Mode) を推進中である。FMEA の主要な故障モードの要因解析に当たっては、それが複雑な場合には、別に FTA で解析するのが望ましい。FTA の結果で真の要因に対して、設計的に対処出来ているか否かが議論になる。

また、市場での不具合、あるいは、開発評価の中で発生した問題の、原因解析にも FTA を実施する。もちろん、簡単で直ぐに見当の付くものは別である。複雑で、真の要因のつかみにくいものについては、考えを整理する意味でも、FT 図を書いてみるのが良い。そして、要因を一つずつ実際に確認し、真の要因を見つけることになる。

この様に、FTA は FMEA で提起された故障モードの要因解析、あるいは、市場問題、開発評価で発生した問題などの原因解析が主な役割といえる。

更に、FTA をシステムの信頼性、あるいは、安全性の解析に使う場合も考えてみる。この場合は、トップ事象にシステムの機能を挙げ、一次要因、二次要因に相当する部分には、システムを機能で分解し、コンポーネントに至る構成の大きな括りから、順を追ってコンポーネントまでを挙げていく事になる。そして、個々の要因の故障確率が全て明らかであれば、システムの不信頼度が計算出来る事になる。機械系のシステムでは、各要素の故障確率が求められている例は、少ないように思うが、電気系のシステムについては、信頼性試験体制が充実しており、システムの不信頼度を求めることも可能であろう。

3. FT 図の書き方

故障原因の解析を行う場合、特性要因図(魚の骨)を書く場合と、FT 図を書く場合がある。いろいろな要因がどのように現象と関係つけられるかを見るには特性要因図、現象から順次原因に掘り下げて行くには FTA が使いやすいと思われる。

書く時は、通常「人は左から右へ(又は、上から下へ)見る」という原則で、特性要因図は要因を左に、現象を右に書く。逆に、FTA は現象を上又は左に、原因を下又は右に書く。

FT 図を書くコツが 3 つある。

ボトムアップ法:原因解析を進める時は、たいていの人は直感的に「これはこうして起きたのだろう」という原因を頭に浮かべているものである。それを全部捨てて、一から FT 図を書き始めるのは苦痛なものである。そこで、その頭に浮かんだ原因の系列をまず書いてみる。そして、一番下の要因から、「他に要因はないか」という目で、一つ一つ否定していく。例えば、「材料の硬さが低い」という要因があったら、他に、その上の「材料の強さが低い」という要因に結びつく要因は無いのか、と考える。「面粗度が粗い」とか「残留応力が高い」とか、きっといくつかの要因が思い当たる。こうやって一番上の要因まで否定して、他の要因を書き出せば立派な FT 図になる。

この方法は、最初に考えついた原因が全く見当外れでなければ、確度の高い、一番効率的な FT 図の書き方といえる。

ボトムダウン法:原因が全く思い当たらない時や、解析が行き詰まって、もう一度、最初から客観的に考え直したいと思い FT 図を書く事もある。この様な時は上位の要因から順に書いていくことになる。この場合は、上位の要因を横に見比べて「それで、全てを表せているか?」と反問してみる。抜けていれば、それを書き込む。最上位ができたなら、最上位の一つ一つの要因について、次のレベルの要因が、それぞれ、「それで、全てを表せているか?」と考えてみる。これは時間がかかるが、抜けの少ない書き方と言える。

ポストイット法:会議などで、FT 図を書くのに便利な方法である。(ボトムアップ法も、ボトムダウン法も図面と物を見ながら書くのは当然だが、この方法も)図面と物を見ながら、頭に浮かんだ

要因をポストイットに、思い付くまま書き込んで行く。会議の場合は、議論しながら全員が思い付いたことをポストイットに書いて行く。ある程度書いたら、それを大きな紙に FT 図の形に因果関係になるように貼って行く。同じ内容のものはまとめて一つにし、改めて表紙をつけるのも良い。そして、抜けているところを、ボトムアップ法、ボトムタウン法のようにして補って行き、FT 図を完成させる。

4. FTA ソフトの特徴

1) システム作成の基本的な考え方

FTA ソフトは発達したパソコンの機能を利用し、作成者の手間を出来るだけ省こうとしたものである。

この場合の「手間を省く」という部分で、同じような要因に対しては、AI の考え方を利用し、自動的に下位要因を導き出すようなことも考えられる。FT 図の例を増やし、データベースが増える程、効率的に FT 図が書けることになる。

しかし、この度作成したソフトでは、この様な考え方を敢えて採用していない。理由は、作成者が頭を使って考える事、その過程が大切と考えたためである。FMEA にも同様のソフトがあると聞くが、形だけのものを作り上げるには、確かに便利である。しかし、何のために書くかという、あくまでも原因を解析するためである。そうすると、解析対象のシステムに通じた技術者、あるいは経験豊富な技術者が、そのシステムに即した解析をすることが必須である。こういう意味で「良く考える」ために、その他の所で、出来るだけ楽が出来るような方式を考えただけである。

2) FT 図作成ガイド

FT 図作成の手順を示し、使用者の便宜を図るものとして、「ナビモード」を設定している。「ナビモード」とは、次の操作をアドバイスする画面を表示することによって、対話形式で操作するので、FT 図作成の初心者にも比較的容易に作業が出来る。

特に、本システムでは、「ボトムアップ方式」とか、「ポストイット方式」という一般にはなじみの薄い FT 図作成方法も採用しており、この手順を「ナビモード」にそって操作することで、理解してもらおうとした。

「ナビモード」の終了、「ナビモード」の選択は、どのステップにあっても可能で、操作に慣れると、組合せて、より便利に使えることと思う。

更に、事象の挿入、削除は「カット、アンド、ペースト」を使って、位置を指定し、自由に行う事が出来る。

3) 自動描図

事象の操作は、「事象挿入」あるいは「事象修正」画面で実施するが、「表示」画面に切り替えると、自動的に FT 図が表示される。画面内での、拡大縮小、移動も自由である。

印刷は A-3 用紙固定であるが、縦、横の選択もできる。FT 図についても「縦書き」「横書き」の選択が出来る。印刷フォントの種類とサイズも 6～20 ポイントの範囲で選択可能である。そして、拡大縮小機能では、5～200 倍の範囲で選択できる。この場合に、A-3 の大きさからはみ出す場合は、必要な枚数分だけ広げて印刷し、そのつなぎ目には「糊代」が設定されている。そして、印刷が何枚になるかは、「印刷」の画面に、縦、横それぞれの枚数が表示される。

ある事象を太字で強調したい場合には、「事象修正」画面で、「強調」を指定しておけば、「表示」画面で、その事象が太字で強調され、印刷の場合もそのまま表示される。

FT 図は、必要な枚数を決めた後、全体の真ん中に印刷するよう設定されている。

4) 故障確率の計算

システムの信頼性をみる FTA の場合、各要素の故障確率が明らかになっていれば、システムの故障確率を求めることが出来る。本 FTA は、各事象を入力する段階で、最下位の事象全ての故障確率を入力しておけば、全てを入力し終わった段階で、システムの故障確率が計算出来る。故障確率は、希少確率の場合も考慮して、指数表示で入力することとした。

本計算では、各事象の発生確率を入力すると、トップ事象の発生確率が求められることになる。

5) データベース

事象は、主語、述語の形で表現する。一度入力すると、その主語、述語は、それぞれのデータベースに記憶される。主語、述語の各グループ内では、「あいうえお」順に整理されていて、データベースにある物はクリックすると、そのまま主語、述語として採用される。主語あるいは述語の数字文字入力し確定すると、データベース内でその文字を含んだ語を検索して表示するので、該当のものがあれば、それをクリックすると所定の欄に表示される。

従って、データベースに豊富に記憶されており、同種のシステムの FT 図を書くような時、データベースから選択できる場合には、クリックだけで入力できるので、非常に楽である。

主語、述語のデータベースについて、もう一つ配慮がある。複雑なシステムを扱う時、最近の例では、機械系と電気系の組み合わせた物が多い。このような場合、サブシステム毎に、機械系、電気系と分かれていると、データベースも分かれている方が検索し易い。このようなケースを考え、データベースを三つ持つ事にした。そして、一つの FT 図を書く過程で、必要なデータベースを呼び出して使う事になる。この場合、新たに、主語、述語のデータを追加すると、自動的にそれぞれのデータベースに新たに追加される。

作成した FT 図は、そのままの形でデータベースに記憶される。後日、その名称で読み出すことができる。

又、頻繁に使いそうな要因については、要因とその下につながる事象をセットにして、名称を

つけて、ブロック図として登録することが出来る。これがブロック図のデータベースになる。別途、FT 図を作成する場合に、ブロック単位で呼び出して、そのまま入力することが可能である。

6) 禁句語の設定

FMEA でも同じだが、事象は出来るだけ具体的に表現しなければならない。その事象を読んで、何を言っているのか、頭の中で、絵が描けるような表現にする。「不良」だとか「悪い」という抽象的な表現は避けるべきである。

例えば、「材質不良」といった場合、不純物が混じっているのか、強度が低いのか、その外にも考えられて、読んだ人のイメージがひとつには定まらない。こういう表現はよくない。どの人も同じイメージを持つように表現すべきである。

この様に、抽象的な表現を避けるために、「禁句語」を登録できる様にしてある。例えば、前例の「材質不良」と入力し、「不良」が登録されている場合には、「述語が正しくありません。禁句です。」という表示がでて、注意を促す。この禁句は必要に応じて登録すれば良い。

5. FT 図作成例

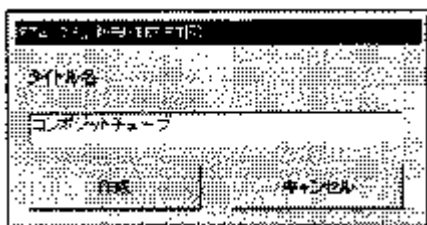
本ソフトをどのように使うのか、イメージをつかんでいただくために、1 例を示す。

「コンポジットチューブが破損」をトップ事象として、FT 図を書いてみる。書き方は、一般になじみの深い、つまり本ソフトで言う、「トップダウン方式」で作成する。

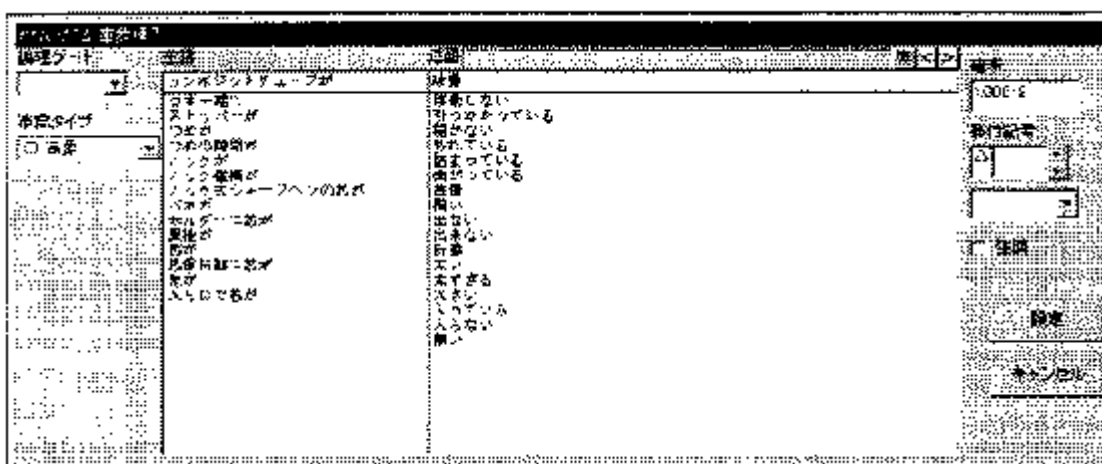
まず、プログラムを立ち上げると、次の様な画面が表示される。



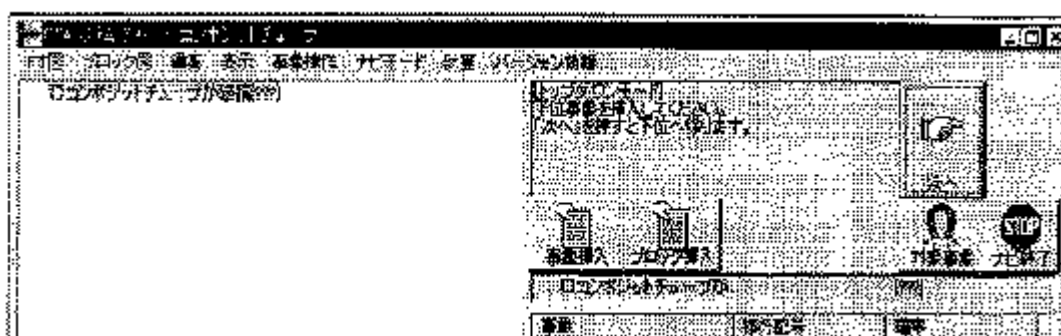
「FT 図」をクリックし、「新規作成」を選びタイトル名を入力する。本例では、「コンポジットチューブ」とする。「作成」をクリックすると、最初の画面に戻るので、「ナビモード」の「トップダウン方式」を選ぶ。



指示に従って、トップ事象を入力する。「標準操作」の「事象挿入」をクリックすると、次の様な画面が表示される。事象のタイプを選らんで、主語、述語を入力した段階である。



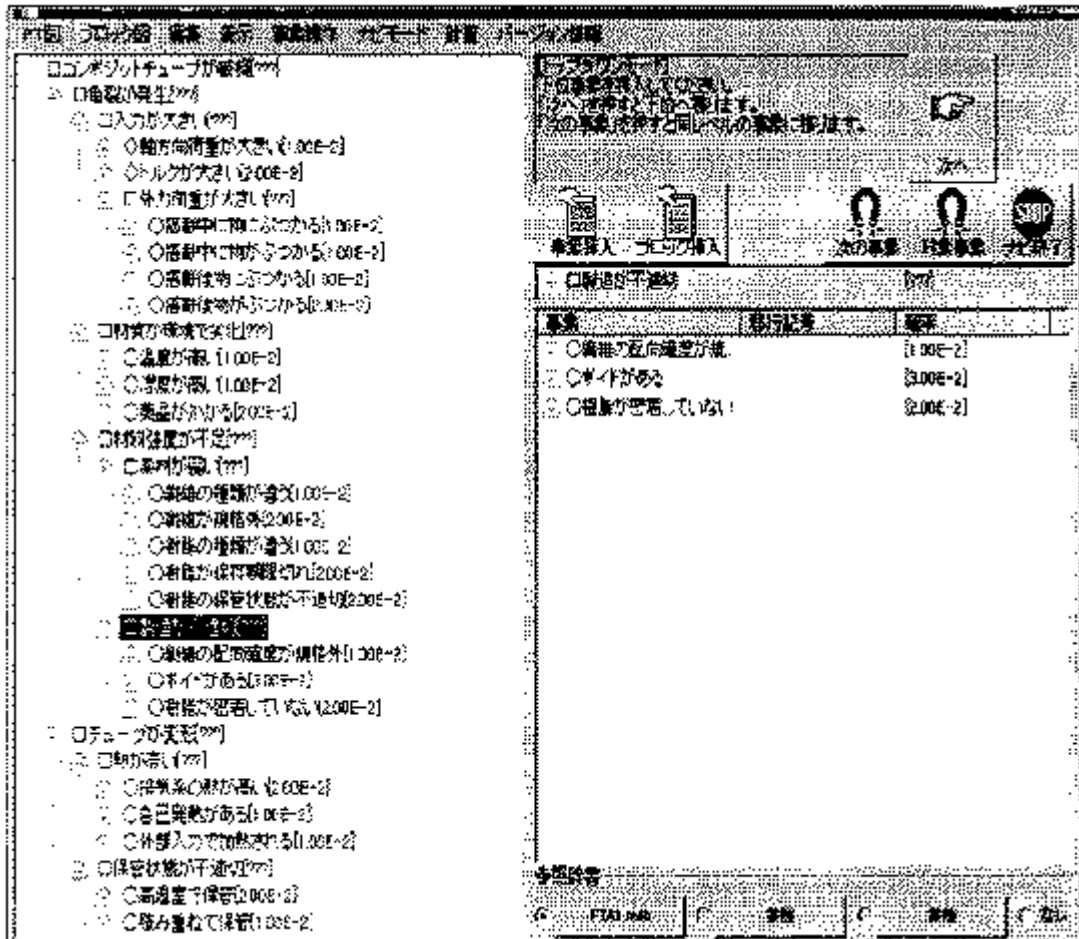
更に、論理記号「AND」[ND]などを選んで、「設定」をクリックすると、トップ事象が登録される。指示に従って「次へ」をクリックすると、一次要因の登録画面になる。



ここで、先ほどと同様に、「事象挿入」を選んで、一次要因を順に入力すれば良い。二次要因を入力するためには、「次へ」をクリックする。ここで、「事象挿入」をすると、青くハイライトされている、一次要因の二次要因として登録される。この位置で「事象挿入」を繰り返すと、同じ一次要因に対する二次要因として登録される。次の一次要因に移る時は、「次の事象」をクリックする。その

後、同じ様にして、二次要因を順次登録する。二次要因を全て入力し終わったら、「次へ」をクリックする。そうすると、第一の一次要因の最初の二次要因がハイライトされるので、「事象挿入」でその部分の三次要因を入力する事になる。後は、同じ事の繰返して、全ての事象を入力する。

この様にして、全ての事象を入力し終わったのが次の画面である。

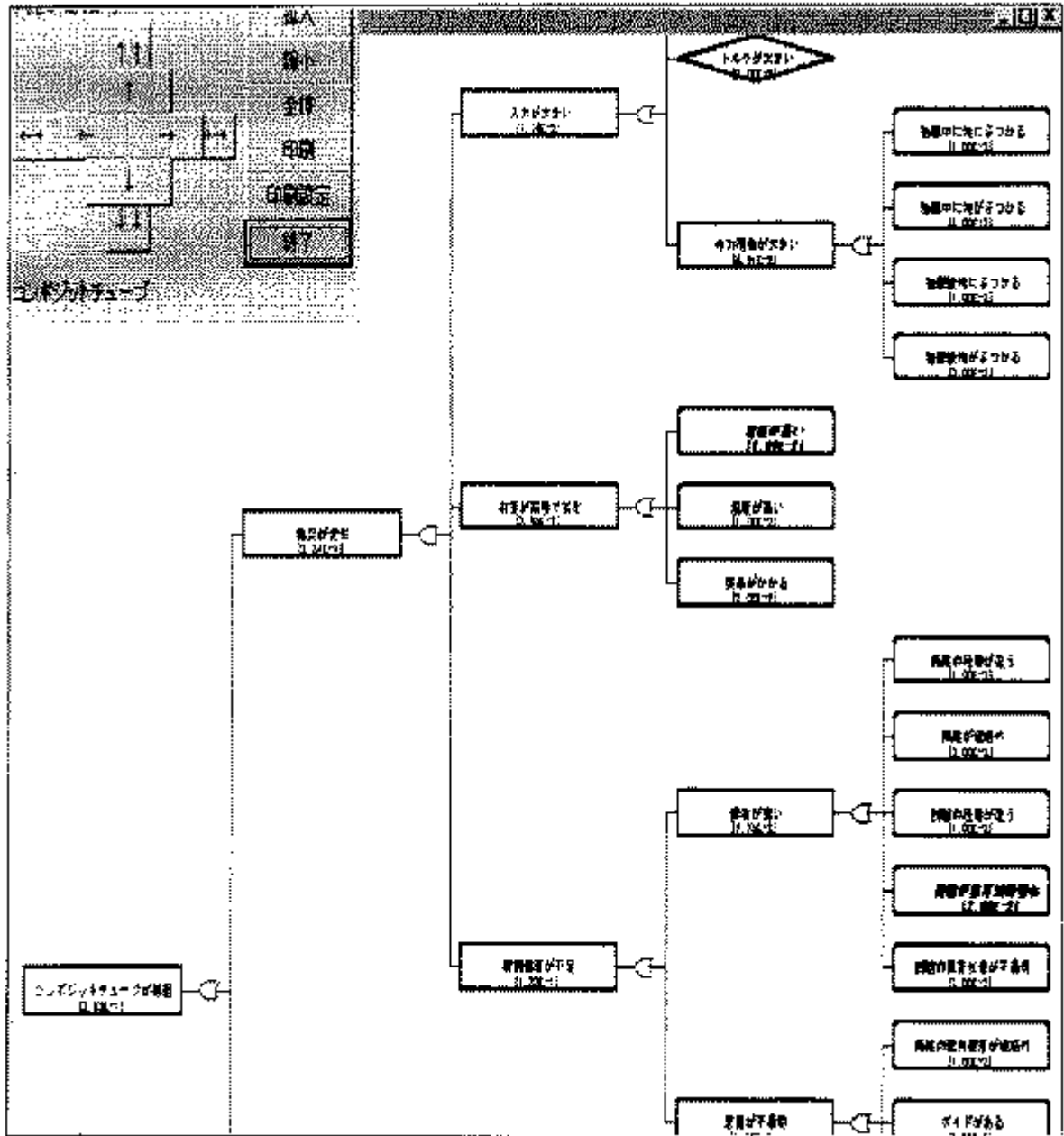


次にこの FT 図を表示するために、「表示」で「標準表示」か「全体表示」を選ぶ。「標準表示」を選んで、縮小と移動を使って、字が読める範囲で出来るだけ全体が入るようにしたのが、次の画面である。見にくいかも知れないが、「温度が高い」「樹脂が保存期限切れ」は「強調」で、太字になり、少し斜めの字体で表示されている。

機能を示すために、仮に入れた発生率で、トップ事象の発生率を計算してみる。「計算」をクリックすると、トップ事象の発生確率が表示される。

印刷する場合は、次ページの画面の「印刷設定」をクリックする。フォントの種類、文字の大きさ、倍率、用紙の縦か横、更に「縦書き」か「横書き」かを選択し「確認」をクリックすると、縦、横それぞれの必要枚数が表示される。「OK」で元の画面に戻って、「印刷」で、印刷される。

見にくいので、A-3 に印刷し、A-4 に縮小したものを、参考で示す(図 1)。



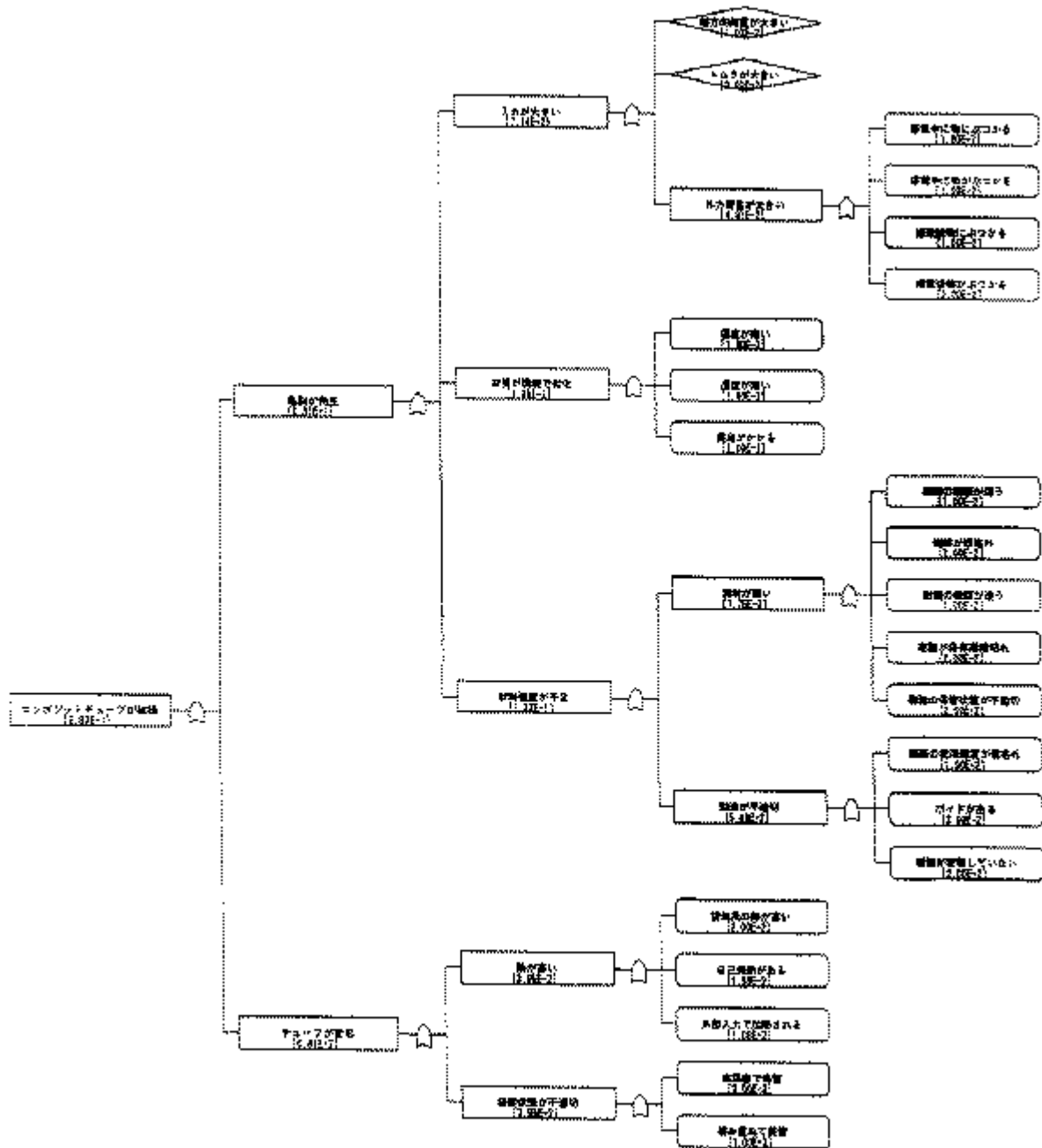


図 1

6. まとめ

トヨタの技術部門における信頼性保証活動の柱としての、FMEA、FTA の位置づけと、最近開発した FTA ソフトの特徴などを紹介した。

FTA ソフトについては、技術部内ネットワークを通じて公開している。既に、200 名近くがダウンロードし、使う中から、いくつかの改善要望も出てきた。それを基に、2 回にわたる改訂をしたものが、現在の形になっている。

これで、ほぼ満足の出来る形になったので、今後ますますの利用を期待している。

掲載されている著作物の著作権については，制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず，本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は，公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>