The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	持続可能社会シナリオの設計支援方法論の研究
Author(s)	水野, 有智
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27543
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

持続可能社会シナリオの設計支援方法論の研究

水野　有智

2013年1月

大阪大学大学院工学研究科

持続可能社会シナリオの設計支援方法論の研究

2013 年 1 月

水　野　　有　智

概要

現在の大量生産・大量消費・大量廃棄型の製造業は持続可能ではなく，持続可能な製造業の実現が求められている．それに対しては個々の技術開発と同時に，その技術が普及したときに社会に与える影響を評価する，あるいは持続可能社会の実現に必要な技術とは何かを考えることが重要な課題となる．この課題に対して，持続可能な社会や製造業の将来像をシナリオ(持続可能社会シナリオ：持続可能社会の将来像とそこに至るまでの道筋を，文章を用いて書いたもの)によって描くことは 1 つの有効なアプローチである．しかし，複雑な社会の将来を考えることは本質的に困難であるため，シナリオの作成もまた困難であるという課題がある．

そこで本研究では，持続可能社会シナリオの作成に必要な一連の行為，すなわちシナリオの「構想」，「記述」，「評価」のサイクルをシナリオの設計と定義し，持続可能社会シナリオの計算機による設計支援を行うことをその目的とする．しかし，シナリオの設計を行うための計算可能なモデルも，計算機上におけるシナリオ設計プロセスも，その支援のための手法も提案されていない．

これらの問題を解決するために，本研究では以下のアプローチを取る．(1)設計対象表現として，計算可能なシナリオモデルを提案する．(2)シナリオの設計プロセスとその中に含まれる「構想」や「記述」，「評価」の設計操作を支援する手法を提案する．(1)については，シナリオの設計プロセスにおける「構想」の過程で生み出される情報を表現するモデルを含めたシナリオモデルを提案することで，シナリオ設計者が設計根拠を参照したり，試行錯誤的にシナリオの設計を行うことを支援する．(2)については，現在の状況から将来を探索するフォアキャスティング(FC)型，目標とする将来を最初に設定して，そこから現在にさかのぼるバックキャスティング(BC)型の 2 つの形式で，持続可能な将来の実現方法を効果的に検討することができる設計プロセスを提案し，その設計プロセスを支援する支援方法論を提案する．本研究で提案する手法を実装したシナリオ設計支援システムを開発し，実行例として「電気自動車普及社会シナリオ」を FC 型で，「持続可能製造業シナリオ」を BC 型で設計し，提案した方法論で実際にシナリオを作成できることを確かめた．今後の展開として，提案したシナリオ設計手法を用いて様々なシナリオを作成し，それらのシナリオを再利用して新しいシナリオを容易に作成できるようにする方法論を提案することや，様々なシナリオを組み合わせて俯瞰的な視点から持続可能性について検討するシナリオを作成することが挙げられる．

目次

第 1 章 序論 1
1.1 背景 3
1.2 本研究の目的 5
1.3 本論文の構成 6
第 2 章 既存研究 9
2.1 持続可能社会シナリオ 11
2.1.1 未来を考える技法としてのシナリオ 11
2.1.2 持続可能社会シナリオの定義と特徴 12
2.1.3 持続可能社会シナリオの実例 14
2.2 シナリオの作成方法論 22
2.2.1 シナリオ作成プロセスの分類 22
2.2.2 フォアキャスティング型シナリオ作成プロセス 25
2.2.3 バックキャスティング型シナリオ作成プロセス 28
2.2.4 シナリオ作成技法 30
2.3 シナリオの評価基準 34
2.4 第 2 章のまとめ 35
第 3 章 持続可能社会シナリオシミュレータ 37
3.1 持続可能社会シナリオシミュレータ[14][15] 39
3.1.1 シナリオ理解，分析，作成に関する課題 39
3.1.2 3S Simulator のアプローチ 40
3.1.3 3S Simulator の仕様 41
3.1.4 3S Simulator の意義 42
3.2 持続可能社会シナリオの構造的記述法[15][16] 44
3.2.1 アプローチ 44

3.2.2 Scenario Level 45

3.2.3 Expression Level....47

3.2.4 Data Level....50

3.2.5 レベル間の関係づけに用いられるリンク 52

3.3 動的シナリオの作成手法[15][17] 54

3.3.1 動的シナリオの定義....54

3.3.2 動的シナリオの実現のための課題とアプローチ....54

3.3.3 シミュレータの再利用可能化....55

3.3.4 シナリオとシミュレータの接続手順....55

3.4 シナリオの論理構造分析手法[15][16] 58

3.4.1 目的とアプローチ....58

3.4.2 シナリオの根拠の定式化....58

3.4.3 シナリオの論理性指標....61

3.5 既存シナリオの what-if 分析による派生シナリオの作成手法[15][18] 63

3.5.1 What-if 分析の定義とアプローチ 63

3.5.2 シナリオの基本パターン....63

3.5.3 シナリオのアーカイブ化....64

3.5.4 what-if 分析の手順化 65

3.6 インプリメンテーション[15] 66

3.7 第 3 章のまとめと本研究の位置付け 68

第 4 章 持続可能社会シナリオ設計支援方法論....69

4.1 シナリオの設計....71

4.1.1 設計学 71

4.1.2 シナリオの設計....71

4.2 シナリオの設計支援方法論....73

4.2.1 シナリオ設計支援の実現に向けた課題 73
4.2.2 アプローチ 73
4.3 シナリオのモデル 75
4.3.1 モデルの全体像 75
4.3.2 構造的記述法の拡張 77
4.3.3 シナリオの構想モデル 80
4.4 シナリオ設計プロセスとその支援方法論 82
4.4.1 シナリオ設計プロセス 82
4.4.2 シナリオ設計支援方法論 83
4.5 第4章のまとめ 85
第5章 フォアキャスティング型シナリオ設計支援方法論 87
5.1 アプローチ 89
5.2 フォアキャスティング型設計支援のためのシナリオのモデル化 91
5.2.1 モデルの全体像 91
5.2.2 対象世界モデル 92
5.2.3 シナリオの構想モデルの要素と構造化シナリオの関係づけ 95
5.2.4 フォアキャスティングシナリオのサブシナリオ構造 96
5.3 フォアキャスティング型シナリオ設計プロセス 97
5.3.1 設計プロセスの全体像 97
5.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定 99
5.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述 99
5.3.4 Phase 3 シナリオの詳細の記述 103
5.3.5 Phase 4 シナリオ文書の記述 106
5.4 フォアキャスティング型シナリオ設計支援システム 108
5.4.1 システム構成 108

5.4.2 データ構造 109

5.4.3 Scenario Design Manager (FC type) 110

5.4.4 Problem Editor 111

5.4.5 Idea generator 112

5.4.6 Causal Network Editor 113

5.4.7 Storyline Editor 117

5.4.8 Scenario Structural Description Support System 118

5.5 支援システムを用いたシナリオ設計プロセス 119

第 6 章 バックキャスティング型シナリオ設計支援方法論 125

6.1 アプローチ 127

6.2 バックキャスティング型シナリオ設計支援のためのシナリオのモデル化 129

6.2.1 モデルの全体像 129

6.2.2 ロジックツリー 130

6.2.3 ロジックツリーと構造化シナリオを関係づけるリンク 133

6.2.4 バックキャスティングシナリオのサブシナリオ構造 133

6.3 バックキャスティング型シナリオ設計プロセス 135

6.3.1 設計プロセスの全体像 135

6.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定 137

6.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述 137

6.3.4 Phase 3 シナリオの詳細の記述 141

6.3.5 Phase 4 シナリオ文書の記述 145

6.4 バックキャスティング型シナリオ設計支援システム 146

6.4.1 システム構成 146

6.4.2 データ構造 147

6.4.3 Scenario Design Manager (BC type) 149

6.4.4 Problem Editor 150
6.4.5 Logic Tree Editor 151
6.4.6 Scenario Structural Description Support System 155
6.5 支援システムを用いたシナリオ設計プロセス 156
第 7 章 実行例 163
7.1 シナリオ設計プロセスの全体像 165
7.2 実行例の概要 167
7.3 実行例：フォアキャスティング型シナリオ設計 168
7.3.1 概要 168
7.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定 168
7.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述 170
7.3.4 Phase 3 シナリオの詳細の記述 177
7.3.5 Phase 4 シナリオ文書の記述 183
7.4 実行例：バックキャスティング型シナリオ設計 185
7.4.1 概要 185
7.4.2 Phase 1 シナリオの問題設定 185
7.4.3 Phase 2 ストーリーラインの記述 187
7.4.4 Phase 3 シナリオの詳細の記述 195
7.4.5 Phase 4 シナリオ文書の記述 206
第 8 章 考察 207
8.1 3S Simulator とシナリオ設計支援方法論の関係 209
8.2 シナリオ設計支援のためのシナリオモデル 210
8.3 フォアキャスティング型シナリオ設計支援方法論 211
8.4 バックキャスティング型シナリオ設計支援方法論 213
第 9 章 結論 217

9.1　本研究の結論 219
9.2　今後の課題 220
9.3　本研究の展望 221
謝辞 223
参考文献 225
発表論文 231

第1章 序論

第 1 章では，本研究の背景と未解決の課題について述べ，それらに基づいて本研究の目的を定める．最後に，本論文の構成について述べる．

1.1 背景

文明の発祥以来，人類は様々な形で自然を利用することで生存してきた．特に18世紀にイギリスで産業革命が起きて以来，人類は科学技術を発達させ，主に化石燃料などの地下資源を活用して大量生産・大量消費・大量廃棄型の物質文明を構築してきた．これにより，南北問題などが表すように地域による偏りはありつつも，人類全体の幸福，少なくとも物質的な豊かさは歴史を通じて増大してきたということができるだろう[1].

一方で，20 世紀中になって有害廃棄物による大気，水質汚染などの様々な環境問題が観測されるようになった．これらの諸問題は，後に観測，予測された気候変動やオゾン層の破壊，エネルギー・資源枯渇などの問題と併せて一般に「地球環境問題」と呼ばれている．1972 年に Meadows らは，物質文明の量的限界として「成長の限界」という概念を提唱し，地球環境問題が成長の限界が近付いていることによって生じていることを指摘している[2]. そして成長の限界は人類にとって遠い未来の問題ではなく差し迫った問題となってきており，その限界を乗り越えて人類が生存していくためには，物質文明の病理として引き起こされる地球環境問題の解決が不可欠である[3].

地球環境問題とは，本質的には目的対象物である「環境」の健全性をいかに維持するかという問題と解釈することができる．地球環境問題には有害廃棄物による局所的な環境汚染からエネルギーや資源の枯渇，気候変動や環境破壊による生物多様性の喪失まで，時間空間的なスケールの異なる問題が含まれる．このため，個人によって問題の解釈や認識，解決のための対策は異なり，しばしばそれらの問題の間にはトレードオフ関係が含まれる[4]. 例えば，水質汚染の原因となる有害廃棄物を浄化するために，大量のエネルギーが用いられることが，このトレードオフ関係の例として挙げられる．すなわち，地球環境問題の解決のためには，個々の問題に対症療法的に取り組むのではなく，問題の全体を総体的に把握し，目的対象物の全体的な健全性を調整するというアプローチが必須となる[4].

地球環境問題の総体的な解決を目的として 20 世紀の後半に提唱された概念が「将来の世代がそのニーズを満たすための能力を損なうことなく，現世代のニーズを満たす開発」と定義される持続可能な開発である[5]. 更に持続可能な開発の帰結である持続可能性，そして持続可能性が実現された社会である持続可能社会という概念が提唱され，注目されてきている．持続可能性が物理的に成立するための条件として，H.E. Daly は以下 3 つを提案している[6].

1. 再生可能な資源の消費ペースは，その再生ペースを上回ってはならない.
2. 再生不能資源の消費ペースは，それに代わりうる持続可能な再生可能資源が開発されるペースを上回ってはならない.
3. 汚染の排出量は，環境の吸収能力を上回ってはならない.

しかし，持続可能社会の具体像は未だに不明確である．この課題に対しては，持続可能な将来像とそこに至るまでの道筋を「シナリオ」に描くことによって明確化するという試

みが行われてきた[7]．シナリオ作成は不確実な将来に備えた行動決定，戦略策定に広く用いられる手法であり，それは社会が含む複雑性や不確実性を考慮に入れて将来を考える上でも有効である．シナリオの中でも特に，持続可能社会に向けて作成されるシナリオを本論文では「持続可能社会シナリオ」と定義する．持続可能社会シナリオの例としては，IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)による温室効果ガス排出シナリオ[8]，IEA(International Energy Association: 国際エネルギー機関)による World Energy Outlook (WEO) [9]や Energy Technology Perspectives (ETP) [10]，環境省による 2050 日本低炭素社会シナリオ[11]などが挙げられる．

現代社会における物質的な豊かさの実現において，大量生産・大量消費・大量廃棄型の製造業が生み出す，安価で，高性能な製品が果たす役割は大きい．しかし，資源・エネルギー，及び廃棄物を受け入れる処分場容量の有限性のために，製造業も社会同様，持続可能な形態への変革が求められている[12]．すなわち，持続可能性というキーワードは製造業における重要なテーマとなってきており，製品のエネルギー効率やリサイクル性を向上させるだけでなく，製品が設計・生産され，使用され，廃棄されるまでの製品ライフサイクル全体を含めて最適化するものづくりの方法論が提案されている[13]．しかし，製造業が社会の一要素として他の様々な要素と相互に影響を与えあっており，製造業の中の要素にも多様性や相互依存関係が含まれることから，持続可能な製造業の全体像はいまだに明らかになっていない．これはすなわち，現在持続可能性の実現を目指して行われている各種の技術，製品の開発が，本当に社会全体の持続可能性の実現に貢献するのかどうかが分からないということを表している[14]．持続可能な製造業の全体像をシナリオの作成を通じて検討するということは，持続可能社会の実現に向けて真に開発されるべき技術や製品はなんなのかを示すことができるという点において，非常に重要な研究課題であるということができる．

以上述べてきたように，持続可能社会や持続可能製造業の実現に向けては，シナリオの作成を通じた将来像とその実現過程の描写が有効なアプローチの 1 つであるということができる．しかし持続可能社会シナリオの作成は，記述対象とする社会，あるいは社会の持続可能性という問題自体が非常に複雑であるため，本質的に困難である．持続可能社会シナリオの作成においては現実の社会の様々な領域，分野についてのデータを収集し，それら多様なデータを整理し，解釈し，シナリオの内容＝社会の将来の姿やそこに至る過程を発想しなければならない．また，発想した内容と根拠となったデータ，知見を関連付けてシナリオとして記述しなければならないという点もシナリオの作成を困難な作業にしている理由である．これまで，シナリオの作成を行うための様々な方法論が提案されてきているが，それらは基本的に人手で実行することを前提としたものであり，シナリオの理解，作成，分析の計算機による支援というものは試みられてこなかった．

1.2 本研究の目的

本研究の先行研究として，持続可能な製造業の将来像を明確化するための持続可能社会シナリオの作成に必要な行為として，シナリオの設計という概念が定義された[15]．さらに，シナリオの設計を統合的に支援するための統合設計支援環境である持続可能社会シナリオシミュレータ(Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator)[14][15]が構想され，その実現に必要な課題が明確化された．それらの課題のうち木下は，シナリオ設計支援のための表現方法論[16]，シナリオとシミュレータを再利用可能化するための方法論[17]，シナリオの論理性を評価するための評価方法論[16]，及び，既存シナリオの展開を支援するため方法論[18]の 4 つの手法を提案し，それらを実装した 3S Simulator のプロトタイプを開発した．

これらの先行研究を踏まえたうえで本研究では，シナリオの設計概念を整理し，その設計概念に基づいて計算機上におけるシナリオの設計プロセスとその設計プロセスの支援手法を提案することを目的とする．本研究では，以下の 3 つの方法論を提案する．

1. 計算可能なシナリオモデルの提案：シナリオの設計を計算機上で実行するために，計算可能なシナリオのモデルを提案する．提案するモデルは先行研究で提案されたシナリオの構造的記述法をベースとして，シナリオの設計プロセスにおける中間的な状態をモデルの中に含むものとする．
2. シナリオ設計プロセスの提案：シナリオをいかに設計するのかを明らかにするために，提案するシナリオモデルの設計操作としてシナリオの設計プロセスを定義する．提案する設計プロセスは，シナリオの構想を練る際の因果的な方向性に基づいて 2 種類定義する．
3. シナリオ設計支援方法論の提案：本研究において定義する 2 種類のシナリオの設計プロセスに対して，その中に含まれる各設計操作を支援するシナリオ設計支援のための方法論を定義する．

以上提案する支援方法論を，先行研究で提案された 3S Simulator のプロトタイプを拡張する形で実装する．更に，提案する方法論と支援システムの有効性の検証を，実行例を通じて行う．

1.3 本論文の構成

本論文は，全10章から構成される．

第 2 章では，既存のシナリオ研究に関する文献調査に基づいて，持続可能社会シナリオを作成する際の課題を明確化する．

第 3 章では，先行研究において構想された持続可能社会シナリオシミュレータと，本研究の前提となる研究成果について述べる．

第 4 章から第 6 章において，本研究で提案するシナリオ設計支援方法論について具体的に述べる．

第4章では，更にシナリオの設計，及びシナリオの設計支援に関する基本概念を定義し，本研究で提案するシナリオの設計支援方法論の全体像について述べる．更に，シナリオ設計を計算機上で実行するために必要な設計対象表現の手法として，シナリオのモデルを定義する．

第 5 章ではフォアキャスティング型，すなわち現在から将来を探索する形式でシナリオの設計を支援する方法論を提案する．

第 6 章ではバックキャスティング型，すなわち最初に目標とする将来像を設定して，その後に現在に向けてその実現過程を遡る形式でシナリオの設計を支援する方法論を提案する．

第 7 章では提案する方法論の実行例として，提案する方法論とシナリオ設計支援システムを用いて実際にシナリオを作成する．ここでは「電気自動車普及社会シナリオ」をフォアキャスティング型で，「持続可能製造業シナリオ」をバックキャスティング型で新規に作成する．

第 8 章では，実行例の結果を基に提案した方法論，システムの有効性について議論する．

最後に第9章で本論文を結論付ける．

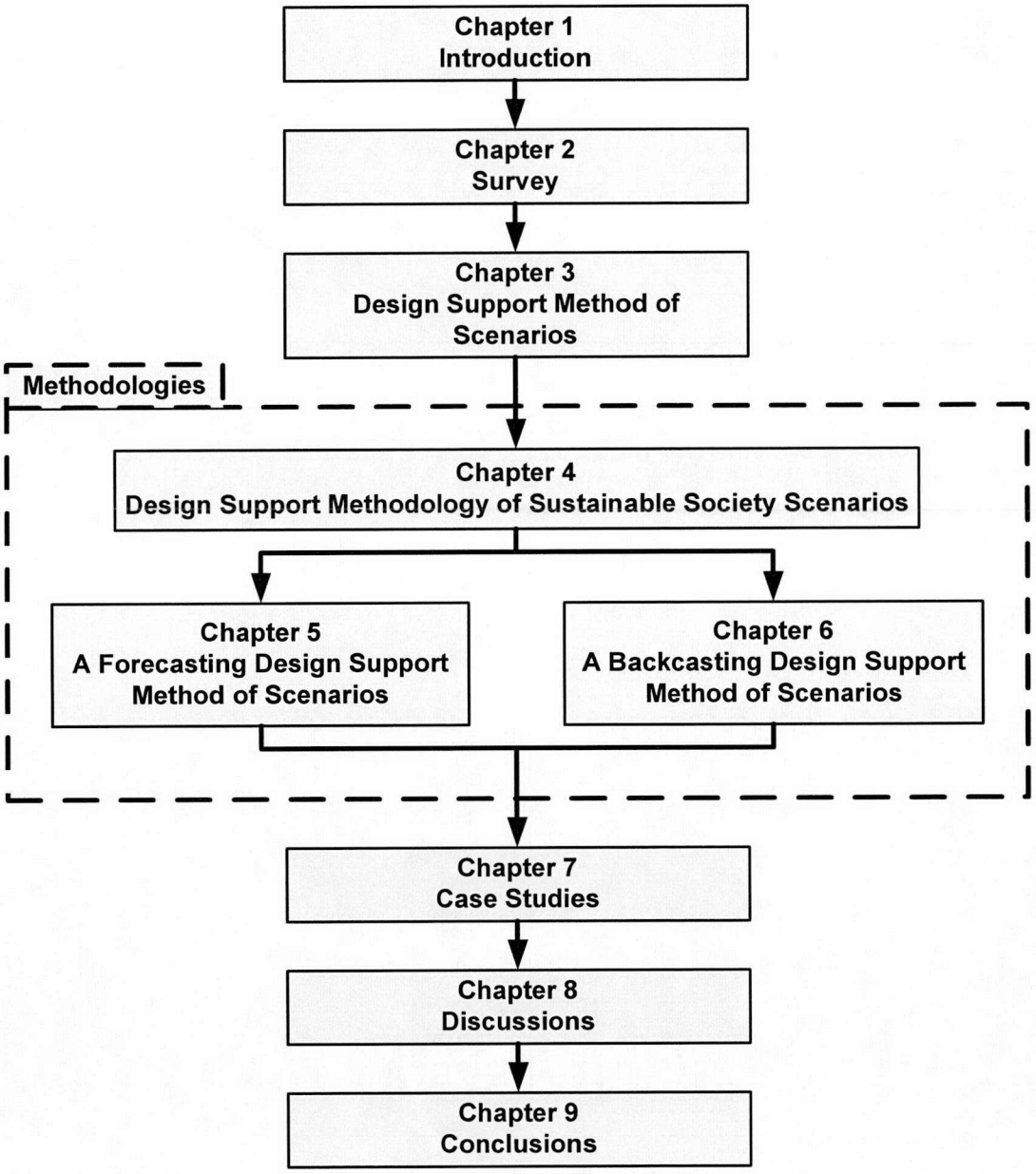
Chapter 1
Introduction
Chapter 2
Survey
Chapter 3
Design Support Method of Scenarios
Methodologies
Chapter 4
Design Support Methodology of Sustainable Society Scenarios
Chapter 5
A Forecasting Design Support Method of Scenarios
Chapter 6
A Backcasting Design Support Method of Scenarios
Chapter 7
Case Studies
Chapter 8
Discussions
Chapter 9
Conclusions

図 **1.3.1** 本論文の構成

第2章 既存研究

第 2 章では，先行研究の調査を行う．まずは持続可能社会シナリオ，あるいはシナリオというものの定義を行う．次にこれまでにシナリオを作成するために提案されてきた方法論について整理する．ここでは特に，シナリオ作成手法を 2 つの型，すなわち現在から将来を探索するフォアキャスティング型，目標とする将来を最初に設定して，次にその達成方法を検討するバックキャスティング型の 2 つに分類して整理する．

2.1 持続可能社会シナリオ

本節では，本研究の研究対象であるシナリオの定義について，特に持続可能性や持続可能社会をテーマとする持続可能社会シナリオはいかなるものであり，いかなる特徴を持つものであるのかについて実例を挙げて述べる．

2.1.1 未来を考える技法としてのシナリオ

一般的なシナリオとは，演劇や映画などの筋立てを記した脚本を指す．本研究では，未来学(Futurology あるいは Future study)と呼ばれる，未来での物事がどう変わっていくかを詳細に調査・推論する学問分野において用いられる手法の 1 つとしてのシナリオを取り扱う．後者の文脈におけるシナリオは，第二次世界大戦後，冷戦構造の中で軍事戦略策定の方法を研究していた Kahn[20][21]らが，厳密な将来の予測を行うことの困難さに対応するために開発したものである．このような未来学の文脈におけるシナリオの定義の 1 つとしては，Glenn[19]による「ある将来と現在の状態を，決断や結果を表す一連の因果関係で接続したストーリー」というものがあり，本論文ではこの定義を採用する．また，シナリオの作成を通じて将来への戦略立案を行う手法をシナリオプランニングやシナリオアプローチなどと呼ぶことがある[22][23].

松岡[7]は将来を考える手法(将来推計)を表 2.1.1 のように分類している．推計(Projection)は将来についての記述全般を表す．推計の下位分類として予測あるいは予報(Forecast)，予言(Prediction)，シナリオ(Scenario)の 3 つが定義されている．これらのうち，予測，予報や予言とシナリオの相違点としては，前者 2 つは特定の将来の状態を決定するのに対して，シナリオにおいては複数の将来の状態を想定することにある．これはすなわち，確実に起こりうる未来を描ききること自体はシナリオ作成の目的ではないことを表す．むしろ，関与する様々なステークホルダー（利害関係者）が，未来像・シナリオの描写を行うプロセスの中で，不確実性を内包する未来社会に対する認識を醸成し，問題対処のための準備を柔軟に行う過程にこそ，シナリオ作成の本質的な意義がある[24].

表 2.1.1 将来推計を表す用語の分類[7]

用語	説明
推計 (Projection)	将来についての記述全般，予測，予報，予言，シナリオを含む一般的な用語.
予測，予報 (Forecast)	「最も起こりそう」な推計.
予言 (Prediction)	将来の状態についての単一的な決め付け.
シナリオ (Scenario)	将来起こりうる複数の状態についての推計.

2.1.2 持続可能社会シナリオの定義と特徴

第 1 章で述べたように，地球環境問題の解決，あるいは持続可能性の実現に向けて多くのシナリオが作られてきた．このようなシナリオの端緒としては，Meadows が 1972 年に発表した「成長の限界」が挙げられる[2]．1980 年代後半からは，地球環境問題の高まりと共に持続可能な発展の観点に基づくシナリオが作成されるようになった[25][26]．1990 年代になり，地球環境問題の諸問題が実際に観測されるようになるにつれて，シナリオ内においてそれらの問題を具体的，詳細に取り扱うようになった．そのために，これらのシナリオの作成においては，叙述的，定性的な記述と，対象問題を科学的知見に基づいて明示的に表現した数理モデルに基づくシミュレーションを組み合わせて用いている．このようなシナリオの代表例としては，IPCC の SRES(Special Report on Emissions Scenarios)が挙げられる[8].

本研究では，これらのシナリオのような，地球環境問題を含んだ持続可能性の観点から社会の将来について議論するシナリオを「持続可能社会シナリオ」と呼ぶ．持続可能性について定まった定義はないが，人間が関与する社会，経済などと自然環境から構成されるシステムの調和が取れた状態という形で定義される場合が多い[27][28]．例えば図 2.1.1 が表す例では，環境，社会，経済の 3 つの構成要素の調和状態として，持続可能性を定義しようと試みている．既存のシナリオや文献を調査した結果として，持続可能社会シナリオには以下の 5 つの特徴がある．

1. 定量的，定性的な要素による表現：持続可能社会シナリオは，文章による定性的な表現と自然科学や社会科学の法則に基づく数理モデルを用いたシミュレーションなどの定量的な表現の両方，あるいは片方のみを用いて表現される[27][29]．例えば IPCC の SRES[8]には AIM(Asia-pacific Integrated Model)[30]と呼ばれるシミュレータが用いられている．
2. 対象問題の複雑さ：扱う問題が技術，消費者行動，経済，政治等の多分野に渡っていて複雑である[24][27][28]．例えば，図 2.1.1 によって示されるシステムには，人

口，ライフスタイル，農業，工業，大気，生物相などの様々な要素とのそれらの相互作用が含まれている．

3. 参考文献の多用：持続可能社会シナリオは他のシナリオや研究成果などを多く参照している．例えばIPCCのSRESでは温暖化ガス排出と気候変動の関係についての研究成果など，数千の外部文献が参照されている[8].
4. 複数のサブシナリオから構成される：持続可能社会シナリオは，相異なる複数の将来像とそれらに至る道筋を描いた複数のサブシナリオから構成される[27]．これは複数の将来を想定することで将来の不確実性に備えるというシナリオの基本的な特徴を引き継ぐものである．IPCCのSRESは6つのサブシナリオに6つの異なる将来社会を描き，それぞれの社会からの温暖化ガス排出量と気候変動の度合いを評価している．
5. 対象地域のスケールの多様さ：持続可能社会シナリオの記述対象地域は，地域コミュニティからグローバルな社会経済システムまであり，多様である．実例としては，都道府県，一国内の広域経済圏，世界全体の持続可能な将来を検討したシナリオが存在する．

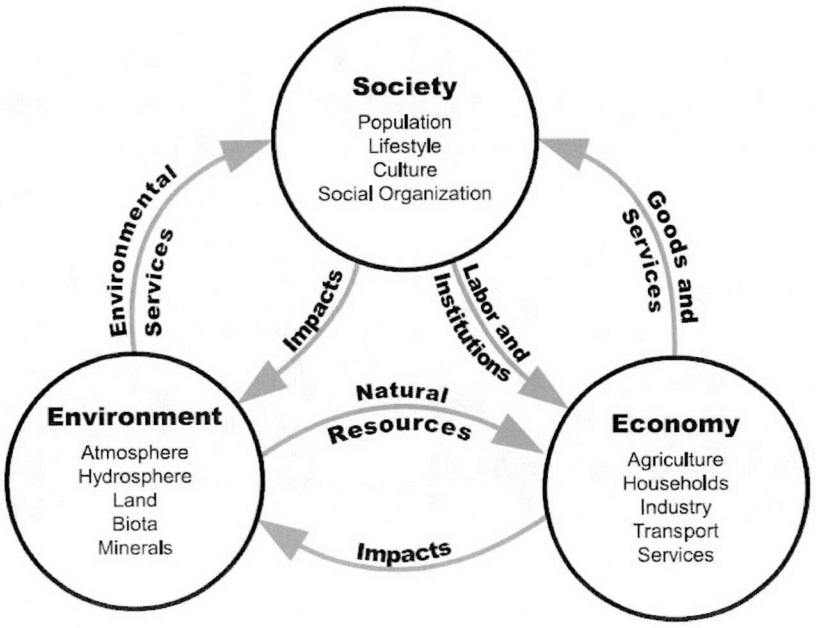

図 2.1.1 持続可能性を定義するためのシステムの例[27]

特徴 1 にあるように，持続可能社会シナリオにおいては，定性的な要素と定量的な要素を複合的に用いる場合がある．その理由としては，シナリオを構成する定量的要素，特に数理モデルを用いたシミュレーションには利点と欠点が存在することが挙げられる．ここ

でシミュレーションの利点として，以下のものが挙げられる．

- 数理モデルによるシナリオの整合性向上：シナリオを記述する上で持続可能社会シナリオは地球の環境システムや人間の作る社会システムを記述対象とするが，それらのシステムは自然科学的，社会科学的な法則の支配下にあり，シナリオはそれらの法則に対して整合的でなければならない[7]．したがって，持続可能社会シナリオを作成するうえでは，それらの諸法則を数理モデル化したシミュレータはシナリオの整合性を高めるための有効なツールとなりうる．

また，シミュレーションの欠点には以下の 3 つが挙げられる．

- 数理モデルの不完全性：人間は環境システムや社会システムを完全に理解しているわけではなく，それらの支配法則もあくまで暫定的な仮説にすぎない．例えば IPCC の SRES が参照している気候変動に関するモデルには不完全な点があり，そのために人間活動による温暖化ガス排出と気候変動の間の関係，それに依拠する IPCC のシナリオや仮説に否定的な意見も見受けられる．
- モデル化の難しい要素を取り扱う必要性：シナリオの記述対象システムには，例えば人間の心理(環境意識や嗜好など)や消費者行動など，数理モデル上での取り扱いが難しい要素が含まれ，持続可能社会シナリオではそれらの要素も取り扱う必要がある．
- シミュレーション自体で表現できない要素の存在：シミュレーション条件の設定根拠，あるいはシミュレーション結果の解釈は，シミュレーション自体やそれを用いて作成されたシナリオを理解する上で必要となると考えられるが，これはシミュレーション自体では表現できず，定性的な要素によって表現する必要がある．

これらの理由から，持続可能社会シナリオ作成においてシミュレーションは有効な手段になりうるが，数理モデルに基づくシミュレーションのみによって持続可能社会像を描くことは困難である．したがって，定量的要素と定性的要素の複合的使用が持続可能社会シナリオ作成において有効となる．

2.1.3 持続可能社会シナリオの実例

これまでに様々な持続可能社会シナリオが作られてきた．ここでは，著名な機関によって作られ，広く知られている持続可能社会シナリオの代表例として，IPCC の SRES，環境省の 2050 日本低炭素社会シナリオ，そして，IEA による Energy Technology Perspectives を紹介する．

(1) IPCC Special Report on Emissions Scenarios[8]

IPCC は，世界気候機構(WMO)及び国際連合の環境プログラム(UNEP)により，人間活動によって排出される温暖化ガスによって引き起こされる気候変動問題について，科学的，技術的，社会経済的な情報を分析，評価するために設置された機関である．SRES は，

2000 年に IPCC によって作成されたシナリオであり，2100 年までの温暖化ガス排出の展望を描いたものである．

SRES は定性的な要素と定量的な要素を組み合わせて作成されたシナリオであり，既存の気候変動シナリオのレビュー，叙述的シナリオの作成，定量的シナリオの作成による温暖化ガス排出量と気候変動の度合いの評価，インターネットによる公表と外部者による評価，そして定量的シナリオの改良という 5 ステップからなる手順を経て作成された．

図 2.1.2 に SRES のシナリオ構成を示す．このシナリオは 4 つの「Scenario Family: シナリオファミリー」と呼ばれる 4 つのサブシナリオからなり，叙述的シナリオ(storyline: ストーリーライン)はそれぞれを文章で書いたものである．4 つのシナリオファミリーはいずれも，気候変動対策を取らない前提で異なる方向に発展，すなわち豊かになった将来の社会を描いている．A1 シナリオファミリーには，エネルギーの供給源の違いで A1FI，A1T，A1B の 3 つのバリエーションがある．図下部に示されている定量化シナリオは 4 つのシナリオファミリーと A1 シナリオのバリエーションに基づく 6 つのシナリオグループに基づいて計 40 個の定量的シナリオ(計算結果を図 2.1.3)を描いている．以下に各シナリオの概要を述べる．

A1 シナリオは，「高成長社会シナリオ」とでも呼べるものである．市場原理に従って世界中がさらなる経済成長を遂げて，教育や技術，社会制度が大きく変革されると想定する．特に発展途上国が大きく成長し，南北の格差が急速に縮まる．経済成長に伴って途上国の出生率は下がり，2050 年に 90 億人に達した世界人口は 2100 年には 70 億人に減少する．エネルギー資源を多く必要とするため，資源開発や新エネルギー開発への投資が進む．途上国の食生活は肉食化し，集約的農業に移行する．環境問題の解決は環境保全というよりも環境管理や創造の観点から解決が図られる．このシナリオには 3 つのバリエーションがあり，それはエネルギーシステムにおける技術革新の選択肢が異なる．A1FI シナリオは，化石燃料主体のシナリオ，A1T は非化石燃料系のエネルギー源中心，そして A1B はあらゆるエネルギー源をバランスよく用いている想定である．

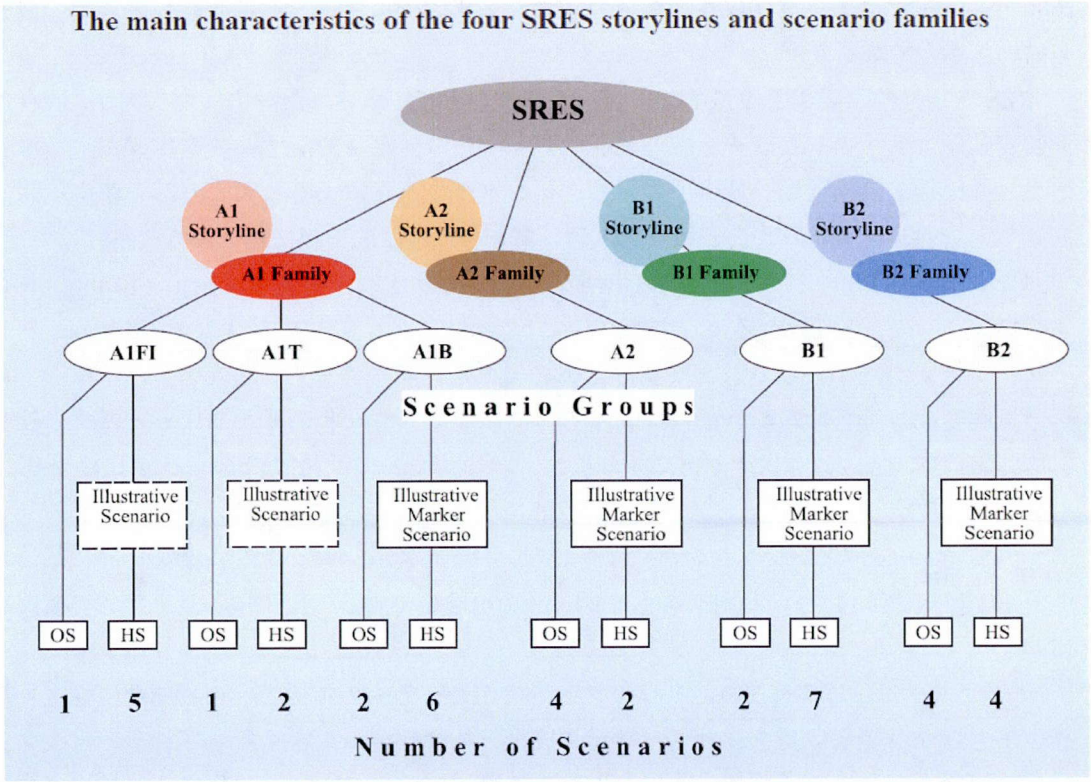

図 2.1.2 SRES のシナリオ構成[31]

A2 シナリオは「多元化シナリオ」というべきシナリオである．世界の各地域が固有の文化を重んじて，多様な社会構造や政治構造を構築することにより，世界の経済や政治がブロック化していくと想定する．国や地域の間に常に緊張関係が生じるため，国際的な貿易や人の移動，技術の移転が制限される．このため，経済発展は遅れ，途上国の出生率が低下しないために 2100 年には世界人口が 150 億人になる．地域間の資産や自然資源の格差は国際的な格差を拡大させる．環境への関心は総体的に低く，地域的な環境問題の深刻化のみが環境対策の動機となる．

B1 シナリオは「持続可能発展型シナリオ」と呼べる．環境や社会への高い関心に基づいて地球公共財としての環境の保全と経済の発展を地球規模で両立し，バランスのとれた経済発展を図るシナリオである．資源利用の効率化，社会制度，環境保護に集中的に投資がされる．環境産業の市場が経済発展を促し，発展途上国への技術移転も進む．経済成長の度合いは A1 シナリオほどではないが高い．都市はコンパクト化し，公共交通が整備される．環境への負荷が小さい農業形式が普及し，自然保護を優先するため食料価格は高いが，肉食型の食生活へのシフトは抑えられる．

B2 シナリオは「地域共存型社会シナリオ」と呼べるものである．環境や社会への高い関心に基づくが，地球規模の問題への関心や国際的な問題解決という方向には向かわず，地域の問題と公平性を重視して，ボトムアップの方向で発展を図るシナリオである．マーケ

ットに任さずローカルな政府の政策が発展をけん引する．教育と福祉向上政策により発展途上国の死亡率，出生率の双方が下がるため，人口は2100年に100億人程度となる．経済成長は鈍いが，個人間，国家間の経済格差は小さくなる．途上国への技術移転は 2 国間で個別に行われる．地域間の独立性が高いため，エネルギー，食料，環境などの問題はローカルに解決が試みられる．

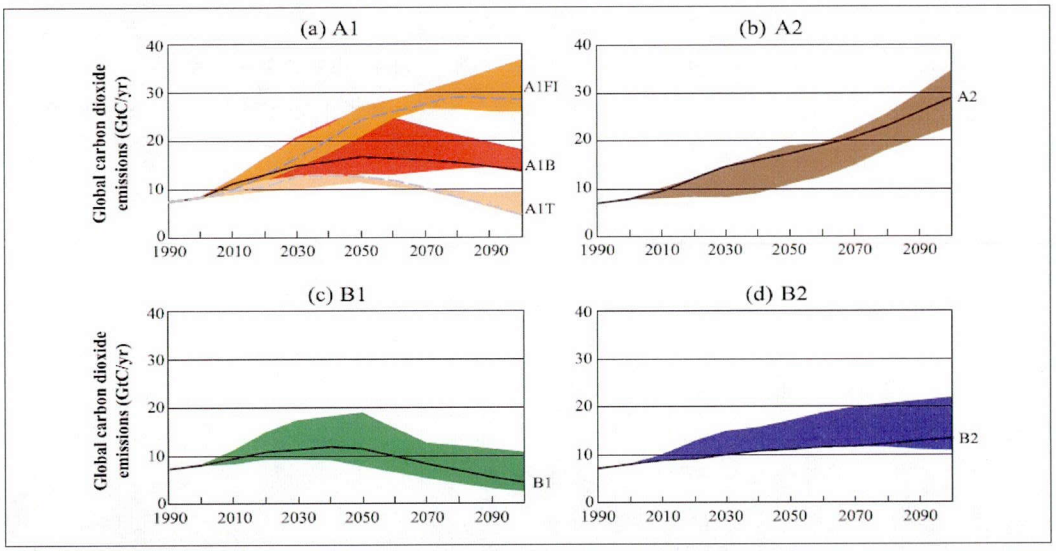

図 2.1.3 SRES の各定量化シナリオの CO2 排出量計算結果[31]

(2) 2050 日本低炭素社会シナリオ[11]

2050 日本低炭素社会シナリオは，環境省のプロジェクトとして，大学やシンクタンクからなる「2050 日本低炭素社会」プロジェクトチームによって作成されたシナリオである．このシナリオは2050年日本において，主要な温室効果ガスであるCO2の排出量の70%削減の技術ポテンシャルを検討したものである．このシナリオの作成においては，2.2 節で述べるバックキャスティング型(目標とする将来を最初に想定して，次にその達成過程を検討する作成形式)で，定性的な要素と定量的な要素を組み合わせて，図 2.1.4 に示す 5 つのステップを経て作成された．すなわち，

1. 日本の社会経済が 2050 年に向けてどんな方向に進むかについて，幅を持った将来像を想定し，専門家のブレーンストーミングによって，それら2つの社会を定性的に描く(叙述ビジョン).
2. 各シナリオの社会像で，家庭生活(時間の使い方，どのようなサービスを必要とするか)，都市・交通形態(どのような都市・住宅に住んでいるか，移動が必要か)，産業構造(多部門一般均衡モデルを用いて構造変化を推定)を定量化し，その想定下でのエネルギーサービス需要(冷房カロリー，粗鋼生産何トンなど)を推定する．

3.　将来のエネルギー供給技術，供給エネルギー種，それらからのエネルギー供給可能量を推定する．
4.　それぞれの社会における経済・社会活動を支え，かつ温室効果ガス排出量 70%削減を満足するエネルギーサービス需要とエンドユースエネルギー技術，供給エネルギー種，エネルギー供給技術の組み合わせを，エネルギー供給可能量，経済性および政策的実現性を考慮して探索し，エネルギー需要・供給技術の種類とシェアを同定する．
5.　そのときの一次，および二次エネルギー量と排出 CO2 量を集計する．

このシナリオ内では，以下の 5 つの前提に基づいて，表 2.1.2 のように 2 つの相異なる将来の日本社会のビジョンが構築した．

1.　一定の経済成長を維持する活力のある社会．
2.　社会シナリオによって想定されるエネルギーサービスの維持．
3.　水素自動車などの革新的な技術の想定．ただし核融合などの不確実な技術は想定しない．
4.　原子力などの既存の国の長期計画との整合性．
5.　本研究の対象は削減ポテンシャルの実証であり，その具現化のために必要となる炭素排出コストの内部化などの政策措置については，言及していない．

さらに，それぞれビジョンにおける CO2 排出量を評価した結果として，目標として設定した 2050 年の CO2 排出量を 70%削減する技術ポテンシャルが存在することを明らかにし，削減に向けて必要な行動や戦略を提言している．

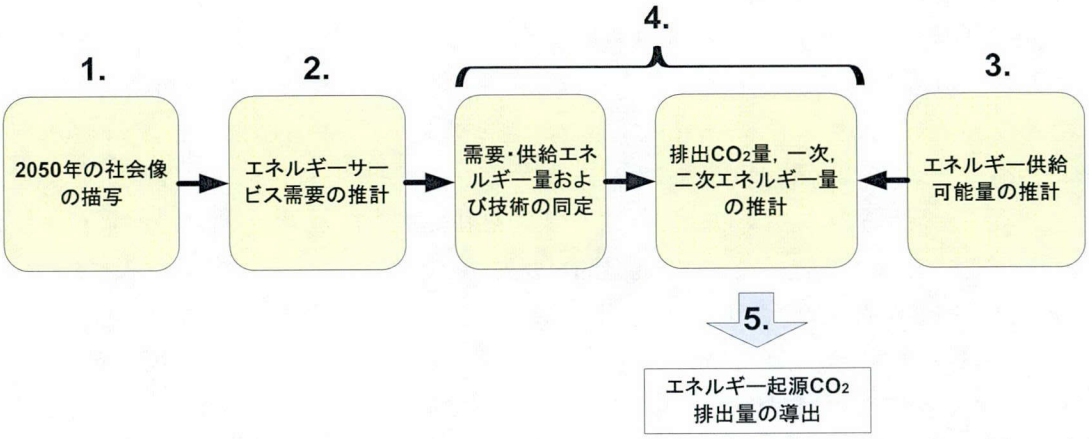

図 **2.1.4 2050** 日本低炭素社会シナリオの作成方法の概要 **([32]**を基に作成**)**

表 2.1.2 2050 日本低炭素社会シナリオで想定された 2 つの社会像[11]

シナリオのタイトルとコンセプト	シナリオ A (活力，成長志向型)	シナリオ B (ゆとり，足るを知る型)
年間 GDP 成長率	年 2%成長	年 1%成長
ライフスタイル	都市化 個人主義	分散化 コミュニティ志向
工業化	技術指向 大量生産とリサイクル	ゆるやかな地産地消
人々の価値観	便利で快適な生活を追求する．	社会的，文化的な価値を重視する．

(3) Energy Technology Perspectives 2010 [10]

ETP は国際エネルギー機関(IEA)によって作成されているシナリオであり，ETP 2010 はその名の通り 2010 年に作成されたバージョンである．これは，2050 年までを対象期間として，太陽光発電パネルや風力発電装置などの様々な再生可能エネルギー機器や，電気自動車や燃料電池自動車などの環境配慮技術を導入することによる持続可能な経済成長を達成するための道筋を示す目的で作成されたシナリオである．このシナリオにおいては，持続可能な経済成長を達成するためのエネルギー技術革命に必要な，資金調達の重要性を強調し，シナリオがエネルギーの安定供給に与える影響について評価し，開発途上国における低炭素技術導入の加速をいかに実現するかを論じている．ETP2010 には Baseline シナリオと BLUE Map シナリオが含まれており，Baseline シナリオは現在から将来を探索するフォアキャスティング型で，BLUE Map シナリオはバックキャスティング型で作成されている．表 2.1.3 に 2 つのシナリオの概要を示す．

表 2.1.3 ETP2010 の 2 つのサブシナリオの特徴と比較[10]

Baseline scenario	BLUE Map scenario
• Energy-related CO_2 emissions roughly double	• Energy-related CO_2 emissions reduced by 50%
• Primary energy use rises by 84%; carbon intensity of energy use increases by 7%	• Primary energy use rises by 32%; carbon intensity of energy use falls by 64%
• Liquid fuel demand rises by 57% requiring significant use of unconventional oil and synthetic fuels; primary coal demand increases by 138%; gas demand is 85% higher	• Liquid fuel demand falls by 4% and biofuels meet 20% of total; coal demand drops by 36%; natural gas falls by 12%; renewables provide almost 40% of primary energy supply
• CO_2 emissions from power generation more than double; CO_2 intensity of power generation declines slightly to 459 g/kWh	• CO_2 emissions from power generation are cut by 76%; its CO_2 intensity falls to 67 g/kWh
• Fossil fuels supply more than two-thirds of power generation; the share of renewable energy increases slightly to 22%	• Renewables account for 48% of power generation; nuclear provides 24% and plants equipped with CCS 17%
• Carbon capture and storage (CCS) is not commercially deployed	• CCS is used to capture 9.4 Gt of CO_2 from plants in power generation (55%), industry (21%) and fuel transformation (24%)
• CO_2 emissions in the buildings sector, including those associated with electricity use, nearly double	• CO_2 emissions in buildings are reduced by two-thirds through low-carbon electricity, energy efficiency and the switch to low- and zero-carbon technologies (solar heating and cooling, heat pumps and CHP)
• Almost 80% of light-duty vehicles (LDVs) sales rely on conventional gasoline or diesel technology; petroleum products meet more than 90% of transport energy demand	• Almost 80% of LDVs sales are plug-in hybrid, electric or fuel-cell vehicles; the share of petroleum products in final transport demand falls to 50%
• CO_2 emissions in industry grow by almost half, as industrial production increases	• CO_2 emissions in industry fall by around a quarter mainly thanks to energy efficiency, fuel switching, recycling, energy recovery and CCS
• Total investment in energy supply and use totals USD 270 trillion	• Investment is USD 46 trillion (17%) more than in Baseline; cumulative fuel savings are USD 112 trillion higher than in Baseline
• Non-OECD countries are responsible for almost 90% of growth in energy demand and account for nearly three-quarters of global CO_2 emissions	• Non-OECD countries achieve CO_2 emissions reduction of around 30% compared to 2007; OECD countries account for less than one-quarter of global CO_2 emissions, having reduced emissions by 70% to 80% below 2007 levels

ETP2010 の Baseline シナリオは，その名の通り(BLUE Map シナリオに対して)基準となるシナリオである．ここでは，2030 年までのエネルギー需給とそこからの CO2 排出量について記述した，World Energy Outlook 2009[33]の Reference Scenario を 2050 年まで延長することで作成されている．このサブシナリオでは，政府はエネルギーと気候変動に関する新政策を導入しないとしている．結果としてこのシナリオでは，2050 年にエネルギーセクターからの年間の CO2 排出量は 2007 年の 2 倍に達してしまうことが指摘されている(図 2.1.5 参照).

一方，BLUE Map シナリオは，2050 年までに世界のエネルギー関連 CO2 排出量を 2005 年比で半減させるという目標を設定して，その目標達成のために必要な既存の低炭素技術，

そして新たな低炭素技術を最も低コストで導入する方法を検討しているものである．結果的に，図 2.1.5 には，各低炭素技術の導入で CO2 排出量削減目標(2005 年比半減)が達成されることが示されている．

本シナリオの結論として，長期的な目標を考慮して早急に低炭素技術の導入に向けた投資を行う必要があることが指摘されている．長期的な視点がないと，短期的に不適切な多額の設備投資を行うことによって将来の排出量削減目標を達成できなくなったり，通常の耐用年数前に設備を廃棄する必要に迫られたりする恐れがある．逆に適切に投資と技術導入を行うことで，長期的に見れば便益を生み出すことも指摘しており，世界各国の政府，投資家，消費者はそれぞれの影響力の範囲内で変化を始動・推進していくための断固たる行動をとるとともに，連携する取り組みを強化していく必要があると提言している．

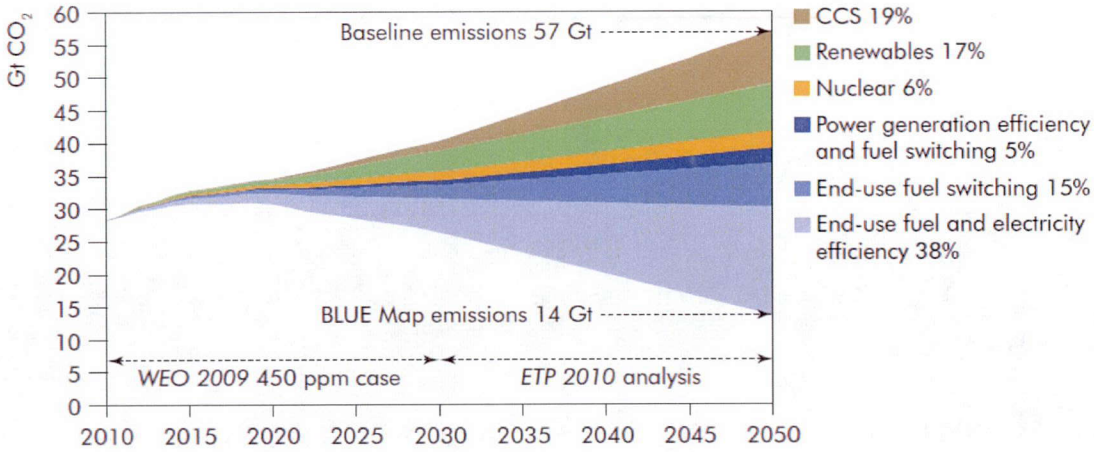

図 2.1.5 ETP2050 における CO2 排出量評価と環境技術導入による削減効果[10]

2.2 シナリオの作成方法論

これまでにシナリオそのものと同時に，シナリオを作成するための様々な方法論が開発されてきた．本節では，シナリオの作成方法論を以下のように分類する．すなわち，

1. シナリオ作成プロセス：シナリオを作成するための作業手順とその作業内容を定義したもの
2. シナリオ作成技法：それ単独でシナリオを作成することはできないが，作業，および思考の方法を定義することで，シナリオ作成を支援するもの

本節ではまず, 2.2.1 項においてシナリオ作成プロセスの分類について述べる. 次に, 2.2.2, 2.2.3 項において，それらの分類のうち，将来に対するアプローチの違いによる分類であるフォアキャスティング(forecasting)とバックキャスティング(backcasting)に基づいてシナリオの作成プロセスの実例について述べる．2.2.4 項においてはシナリオ作成技法について述べる．

2.2.1 シナリオ作成プロセスの分類

本論文では，以下の 2 つの分類に基づいてシナリオ作成プロセスを分類する．すなわち，シナリオ作成に巻き込むステークホルダーの違いによる分類，そして，シナリオ内において将来を考えるアプローチの違いによる分類である．これら 2 つの分類は独立なものである[34].

シナリオ作成に巻き込むステークホルダーの違いによる分類[34][35]

Carlsson-Kanyama[34]は Participative Model と Think-tank Model という，2 つのシナリオ作成のモデルを提案している．Participative Model は，シナリオの記述対象とする問題に関する利害関係者をシナリオの作成に巻き込み，シナリオの作成を通じて民主的な意思決定を行うシナリオ作成の方法として定義されている．比較対象として，従来のシナリオ作成の専門家たちによるシナリオ作成モデルである Think-tank Model が挙げられている．Participative Model に従ったシナリオ作成は利害関係者を参加者とするワークショップを中心としたシナリオ作成であり，将来に関する複数のビジョンを形成し，それらを比較すると同時に，持続可能性の実現に向けた具体的な行動を引き出すものである．Carlsson-Kanayama[34]では，ヨーロッパの 5 つの都市の持続可能な将来像に関するシナリオがバックキャスト型，かつ参加型で作成されている．

将来描写に対するアプローチの違いによる分類

シナリオ作成においては記述対象の将来を想定するが，その際のアプローチの違いに基づく分類が，フォアキャスティング(Forecasting)とバックキャスティング(Backcasting)の 2 つである．それらはそれぞれ探索的(Explorative)シナリオアプローチと規範的(Normative)シ

ナリオアプローチとも呼ばれ，過去の文献[7][36][37]による定義，説明を総合すると，おおむね表 2.2.1 のように定義され，それぞれの利点と欠点を整理すると，表 2.2.2 のようになる．すなわち，フォアキャスティングは現在を始点として，将来を探索するものである．他方，バックキャスティングは目標とする将来の状態を最初に定義し，その将来を達成するために必要な道筋を描くものである．フォアキャスティングとバックキャスティングの概念図は，図 2.2.1 のようになる．

表 2.2.1 フォアキャスティング，バックキャスティングの定義

分類	定義
フォアキャスティング (探索的シナリオアプローチ)	現在からありうる将来を探索する．
バックキャスティング (規範的シナリオアプローチ)	最初に目標とする将来像を設定し，その後にそれらの将来像に到達するために必要な道筋を描画する．

表 2.2.2 フォアキャスティングとバックキャスティングの利点，欠点

分類	利点	欠点
フォアキャスティング (探索的シナリオアプローチ)	現在の状況からの外装によって将来を描くことができる．	描かれた将来像は現在の状況から影響を受ける．さらに，シナリオ作成の参加者によって設定された目標が達成されるかどうか分からない．
バックキャスティング (規範的シナリオアプローチ)	将来像，及びそこに至る道筋を現在の状態を含めた制約条件から自由に描くことが可能である．したがって，バックキャスティングにおいては現在の状況からの断絶や飛躍のある将来を描くことが可能である．	バックキャスティングは数学的に言うところの逆問題の解決に相当するため，フォアキャスティングよりも困難である．

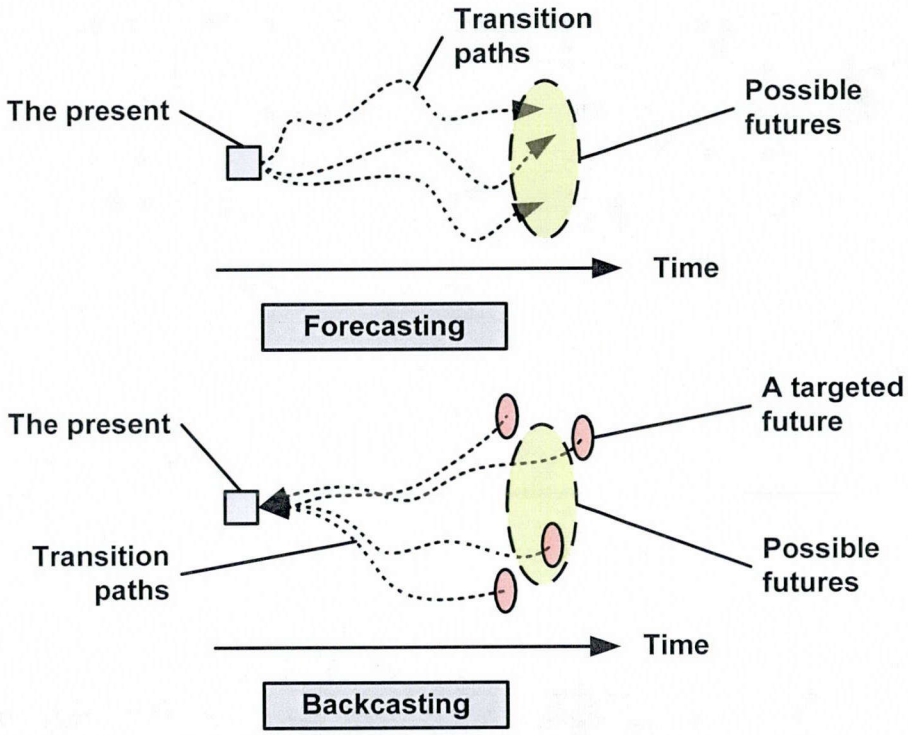

図 **2.2.1** フォアキャスティングとバックキャスティングのイメージ

Borjeson ら[38]はシナリオの作成形式，そしてそれらによって作成されたシナリオの特徴を更に詳細に 2 段階で，表 2.2.3 のように分類している．フォアキャスティング，バックキャスティングという分類に従うと，Predictive scenarios と Explorative scenarios に分類される 4 つはフォアキャスティング型で作成されたシナリオに，Normative scenarios に分類される 2 つのシナリオはバックキャスティング型で作成されたシナリオに相当する．

表 2.2.3 Borjeson らによるシナリオの分類([38]を参考に作成)

分類	定義	分類	定義
予言的シナリオ (Predictive scenarios)	将来何が起こりそうかを予言するシナリオ	予測 (Forecasts)	最も起こりそうな方向に物事が進んだときに何が起きるかを記述するシナリオ.
		What-if シナリオ (What-if scenarios)	将来への物事の変化において，将来に大きな影響を与える条件が変化したときに何が起きるかを調査するシナリオ.
探索的シナリオ (Explorative scenarios)	多様かつ長期的な視点から，起こる可能性のある将来の状況，あるいは将来の展開を探索するシナリオ	外部シナリオ (External Scenarios)	外部シナリオはシナリオに関係するアクターがコントロールすることができない要因のみに着目し，それらの要因がどのように将来に向けて推移して行くのかを記述するシナリオ.
		戦略シナリオ (Strategic scenarios)	戦略的決定の結果生じる変化の範囲を記述することを目的とし，外部要因は考慮に入れつつも，内部要因に焦点を当てるシナリオ.
規範的シナリオ (Normative scenarios)	特定の将来の状況あるいは目標に着目し，それらがどのように充足されうるのかを考えるシナリオ.	保存シナリオ (Preserving scenarios)	ある目標がどのようにしたら効率的に達成されうるのかを探すシナリオ．効率的ということは通常コスト効率が良いことを指す.
		変形シナリオ (Transforming scenarios)	長期的でレベルが高く，かつ優先度が高い，しかし現在の発展の方向性からは到達が不可能であると判断されるような目標を達成するための方策を見つけることを目的とするシナリオ.

2.2.2　フォアキャスティング型シナリオ作成プロセス

これまでに提案されてきたフォアキャスティング型のシナリオ作成手法[23][29][39][40]のうち，代表的なものとして本項では，Jäger らによる Scenario Development and Analysis [40]について述べる.

Jäger らによって提案された Scenario Development and Analysis は，Alcamo が提案した，

Story And Simulation (SAS) Approach[29]を基にして提案されたシナリオ作成プロセスであり，プロセス全体は図 2.2.2 のような 4 つのステップからなる．各ステップでは以下のような作業を行い，シナリオを作成する．

1. シナリオ作成の目的と構造の明確化：シナリオ作成の目的と構造(どのようにしてシナリオを作成するのか?)，シナリオ作成に巻き込む参加者を決定する．
2. シナリオの基礎の設定：どれだけの数のシナリオを作成するのか？あるいはそれらのシナリオ間の相違点を明確化する．このステップでは，シナリオで描かれる将来に影響を与える変化要因(ドライバー drivers)を抽出し，その中から重要度と不確定性が大きい要因(critical uncertainty，キードライバーとも呼ばれる)を軸として図 2.2.3 のようなマトリクスで整理し，シナリオを作成する．この手法は 2.2.4 項で後述するが，Shell/ Global Business Network (GBN) Matrix[41]とも呼ばれ，シナリオ作成，特にフォアキャスティング型に分類されるシナリオ作成手法において広く採用されている手法であり，シナリオプランニング手法[23](2.1.1 項参照)においても用いられている．
3. シナリオの記述と検証：シナリオの基礎に基づいて現状とトレンド(変化の方向性)，変化の結果の最終的な状態，そしてそれらの間の時間的推移を分析し，それらをシナリオに記述し，それぞれのシナリオに名前をつける．更にシナリオに基づいて様々な政策の実行可能性や効果を分析する．
4. シナリオの発表：シナリオを外部に向けて発表する．このステップは 2．と 3．の実行時に適宜実行するものとされている．

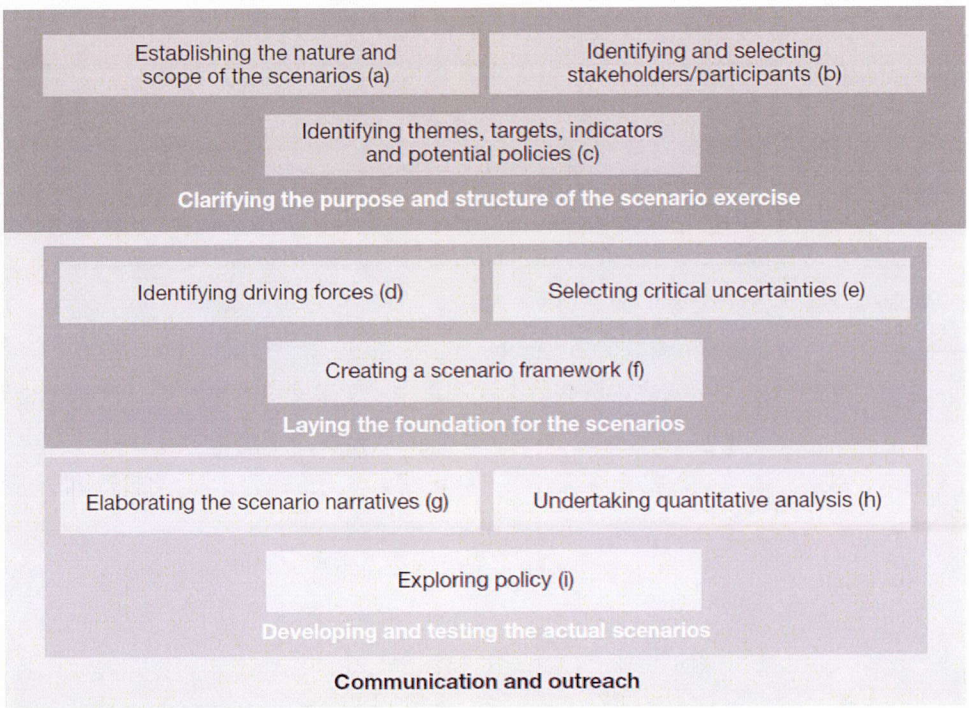

図 **2.2.2 Jäger** らによるシナリオ作成プロセス**[40]**

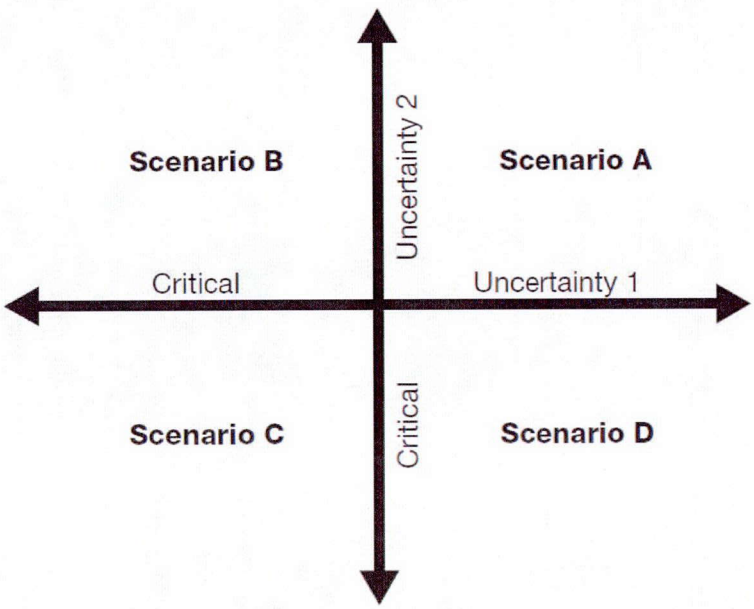

図 **2.2.3 Shell/GBN Matrix** の例**[40]**

2.2.3　バックキャスティング型シナリオ作成プロセス

Robinson[42]は将来予測の困難さに対応するためにバックキャスティングの概念を提唱し，同時にバックキャスティング型でシナリオを作成するためのプロセスを提案した．このプロセスは以下の6ステップから構成されている．

1. シナリオ作成の目的を設定する．
2. シナリオで達成したい定量的，定性的な目標と制約条件を設定する．
3. 現在のシステムを記述する．
4. シナリオの外部要因(exogenous variables)を設定し，シナリオ分析に反映する．
5. 将来の最終時点と中間時点を分析することでシナリオを作成する．作成したシナリオを繰り返し修正することによって，内部的な一貫性を確保する．
6. 社会，経済，環境的な影響を分析し，分析結果と 2. で設定した目標の間を比較し，分析を繰り返すことによって一貫性を保証する．

しかし，Robinsonのフレームワークを直接適用して作成されたシナリオは存在しないため，その有効性は検証されていない．

バックキャスティング型のアプローチに基づいて具体的な作業手順を定義し，特定のテーマに関するケーススタディを実行する試みは行われている[43][44][45][46]．ここでは，英国の低炭素化されたエネルギーシステムと，ヨーロッパの持続可能な水供給システムをバックキャスティング型でシナリオに描いた例について述べる．

英国の低炭素化エネルギーシステムについてのバックキャスト型シナリオ作成[44]

Mander らは，CO2 を 1990 年比で 60%削減させるという目標のもとに，英国における将来のエネルギーシナリオを描いた．最初に将来のエネルギー需要の伸びを予想してその需要の満足を制約条件とし，目標である CO2 排出削減を達成するための，エネルギー供給方法のベストミックス，およびそれを達成するための技術開発，インフラ整備のロードマップをバックキャストにより検討した．Mander らは以下の手順でシナリオを作成した．

1. 将来の目標を設定する：CO2 排出量の 60%削減を達成する 2050 年の英国のエネルギーシステムを決定する．
2. 現在のエネルギー需給パターンを記述する：表計算ツールを用いて英国の現在のエネルギーシステムについてのデータを記述する．
3. 記述終了年のエネルギー需要量，需要パターンを明確化する：エネルギー消費量が多い，あるいは少ない将来をエネルギー需要の部門ごとに記述する．
4. 3．で明確化した需要パターンを充足するエネルギー供給システムを定義する：CO2 排出削減に関する目標と，需要の満足についての制約条件を両方充足する供給システムを定義する．
5. 記述終了年から時間をさかのぼり，将来と現在の間の中間状態を設定する．その後に，将来，中間状態，現在を接続する移行過程を描写する：現在と将来の中間状態におけるエネルギーの需給状態を想定する．最終状態を達成するために重要な要因をワークショップにより決定し，その要因について将来から現在に向かう移行過程を記述する．

ヨーロッパの持続可能な水供給についてのバックキャスト型シナリオ作成[45]

Kok らは，ヨーロッパの持続可能な水供給について，長期的なイメージの探索的な作成(Exploratory scenarios の作成)と，将来イメージの実現に必要な短期的アクションのバックキャスト的な導出(Backcasting Scenarios)を組み合わせて検討を行った．Kok らはこの 2 種類のシナリオの作成を，以下に示す 5 つのステップで実行した．

Kok らは，ヨーロッパの持続可能な水供給について，長期的な将来のイメージを探索的に作成(Exploratory scenarios の作成)し，その後将来イメージの実現に必要な短期的なアクションをバックキャスト的に現在に向かって考える(Backcasting scenarios の作成)という

1. シナリオの記述範囲(テーマやシナリオの数，記述する期間や地域など)を設定する：持続可能な，ヨーロッパの水の供給についてシナリオを記述する．
2. 現状分析を行い，将来不確実な要素を抽出する：現在の水の供給について記述する．
3. 不確実な要素に基づいて Exploratory scenarios のストーリーを記述する：経済成長と QOL という要素から，経済成長よりも生活の質を重視するシナリオを記述する
4. Exploratory scenarios において記述した将来の状態を選択し，その将来の状態を達成するために必要なものや達成に障害となるものを抽出する．更にそれらを関係づける

ことでBackcasting scenariosを作成する：生活の質を重視するために，ヨーロッパにおける土地の使い方を計画する必要がある，といった必要な手段を記述し，その際の障害と結び付けることで実現のための道筋を検討する．

5. 現状と将来をつなぐため，シナリオからロバストな戦略を決定する：持続可能な水の供給にとって，どのような将来においても必要と考えられる戦略，例えば教育やメディアによる意識改革，制度設計が必要であるということを記述する．

同様にフォアキャスティングとバックキャスティングを組み合わせてシナリオを作成する手法としては，Dortmans による Strategic Planning Map[46]と呼ばれるものがある．

2.2.4　シナリオ作成技法

シナリオ作成に関連した方法論　においては，2.2.2，2.2.3 項で挙げたようなシナリオ作成プロセスと共に，その中で用いることによってシナリオ作成における体系的な思考や情報操作を支援するシナリオ作成技法が提案され，実際に使用されてきた[38][47]．表 2.2.4 に Bishop ら[47]による整理を示す．本項では，シナリオ作成技法のうち代表的なものについて述べる．

表 **2.2.4** シナリオ作成技法とその利点，欠点**[47]**

Technique	*Advantages*	*Disadvantages*
1. Judgment (Genius, visualization, sociodrama, Coates and Jarratt)	Easy to do Taps into intuitive understanding of the future Genius, Coates and Jarratt – requires no special training or preparation Visualization, sociodrama – can lead to novel insights and revelations	Difficult to do well Opaque, not transparent Genius, Coates and Jarratt – relies on the credibility of the individual Visualization, sociodrama – requires some training and experience to do well; clients may resist relaxation or dramatic techniques
2. Baseline (Trend extrapolation, Manoa, systems scenarios, trend impact analysis)	Easiest for client/audience to accept because generally expected already Manoa – highly elaborated, creative, lots of detail Systems scenarios – shows dynamic relationships among scenario elements Trend impact – links events with trends	No alternative scenarios proposed Manoa, systems scenarios – futures wheel, cross-impact, and causal models require some training and experience to do well Trend impact – requires judgment to estimate impacts, best done with group of experts, perhaps using Delphi
3. Elaboration of fixed scenarios (Incasting, SRI matrix)	Easiest for client/audience participation because scenario kernels/logics are done for them Provides in-depth elaboration of alternative scenarios	Generic scenario kernels/logics might not be relevant to client/audience; therefore less buy-in SRI Matrix – many have an intuitive sense of the best-case and worst-case scenarios already; filling in the cells of the matrix with many rows (domains) might become tedious
4. Event sequences (Probability trees, sociovision, divergence mapping, future mapping)	Tells the story in the usual way, as a series of events If probabilities at each branch point are known, can calculate the probability of end-states	Probability trees, sociovision – events/branch points usually do not follow each other in a fixed sequence Divergence mapping – events are not always easy to classify according to time horizon Future mapping – pre-defined end-states and events might not be relevant to the client/audience
5. Backcasting (Horizon mission methodology, impact of future technologies)	Creative because it decreases the tendency to extrapolate the future based on the past and the present; therefore can provide new insights Also results in a sequence of events or breakthroughs	Fantastical nature of the mission or end-state might reduce buy-in for client/audience Impact of Future Technologies – process for developing signposts and recommendations still opaque
6. Dimensions of uncertainty (Morphological analysis, field anomaly relaxation, GBN, option development and option evaluation, MORPHOL)	Best for considering alternative futures as a function of known uncertainties GBN –the right mix of technical sophistication and ease of use for a professional audience OD/OE – allows for the calculation of consistency among different combinations of alternatives (scenarios) MORPHOL – allows for the reduction of scenario combinations by the exclusion and likelihood of some pairs of alternatives; also allows for calculating the probabilities of different scenarios if the probabilities of the alternatives are known	Less creative because may not consider some novel developments that are not currently considered uncertain GBN – almost impossible to fully characterize the uncertainties of the future with just two dimensions OD/OE, MORPHOL – almost impossible to make valid estimates of the compatibility or influence of all alternatives against all other alternatives
7. Cross-impact analysis (IFS, SMIC-PROB-EXPERT)	Calculates the final probabilities of alternatives or end-states based on rigorous mathematical procedure SMIC – adjusts the matrix of conditional probabilities for consistency with the laws of probability IFS – allows for quantitative analysis of alternative future values of important variables	Almost impossible to validly estimate the conditional probabilities or impacts of all alternatives against the others
8. Systems modeling (Sensitivity analysis, dynamic scenarios)	Creates the best quantitative representation of continuous variables that describe the future state	Difficult to validate the models without complete historical data

Systems Modeling

Systems Modeling とは，自然科学的，社会科学的理論に基づいた数理モデルを用いて，将来の状態を計算により導出する手法を指し，シミュレーション(simulation)や定量的分析

(quantitative analysis)とも呼ばれる．2.1.2 項で述べたように，定量的な表現は持続可能社会シナリオを構成する要素の 1 つであり，Systems Modeling は多くのシナリオ作成プロセスの中に組み込まれている技法であるといえる(例えば[40][42]).

Story and Simulation Approach[29]は Alcamo によって提案されたシナリオ作成に対する考え方，およびそれを具体化したシナリオ作成プロセスであり，定性的な(qualitative)叙述的シナリオの記述と，数理モデルに基づいた定量的な(quantitative)分析を組み合わせてシナリオを作成する手法である．この作成プロセスに対しては，理解が容易で外部へのアピールに有効であるという叙述的シナリオの利点と，数理モデルに基づいて定性的要素の一貫性を高めることができるという利点を両立することができるというメリットが指摘されている．

Morphological Field Analysis[48]

Morphological Field Analysis は，Shell/GBN Matrix[41]を拡張する形で定義された技法であり，表 2.2.4 においては 6. に相当する．この手法の要点は，シナリオの記述対象を構成する要因の中から，現在から将来に向かって「不確定で」，「将来への影響が大きい」要因(キードライバー，Critical Uncertainty などと呼ばれる)を複数抽出し，その変化，あるいは将来の状態を複数想定してそれらを軸としてシナリオに含まれるサブシナリオを決定する手法である．Shell GBN Matrix では，キードライバーとその変化の数はそれぞれ最大 2 つに限定されるが，Morphological Field Analysis ではそれぞれ任意の数を想定する．ただし，シナリオを作成する労力や，人間の認識能力の問題からキードライバーとその変化の数は限定されるべきであることが指摘されている．

Systems Dynamics[49]

Systems Dynamics とはあるシステムを，その構成要素とその間の因果関係を用いて因果ネットワークとして表現することで，そのシステムの定性的，定量的な分析を行う手法である．表 2.2.4 においては 8. に相当する．因果ネットワークは図 2.2.4 のようになる．図 2.2.4 中では，「出生率=年当たりの人口増加率(Fractional Birth Rate)」，「年間出生数(Birth Rate)」，「人口(Population)」，「死亡率(Death Rate)」，「平均寿命(Average Lifetime)」の間の関係が表現されている．因果関係には正(一方が増加/強化したときに他方が増加/強化する)，負(一方が増加/強化したときに他方が減少/弱化する)があり，図中ではそれぞれ関係を表す矢印についている符号(+/-)で表現されている．ネットワーク内の閉ループにはポジティブフィードバックとネガティブフィードバックが存在し，それが図中では Loop Identifier で表現されている．

この手法はシナリオの作成においても用いられることがあり，Meadows の「成長の限界」[2]においては，Systems Dynamics に基づく世界モデルに基づいて定量的な分析が行われている．Dynamic Scenarios[50]はこの Systems Dynamics モデルを用いてシナリオを書く方法論の一つであり，Systems Dynamics モデルを用いて記述対象を分析し，それに基づいて将来に関するシナリオと，それぞれのシナリオに対応するための戦略を設定する方法論である．

この他に PEST(Political, Economic, Social, Technological)分析[51], あるいは SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat)分析[52]といった事業戦略の策定に用いられる手法も，シナリオ作成，特にビジネスに関連したシナリオプランニング手法などにおいて頻繁に用いられる．

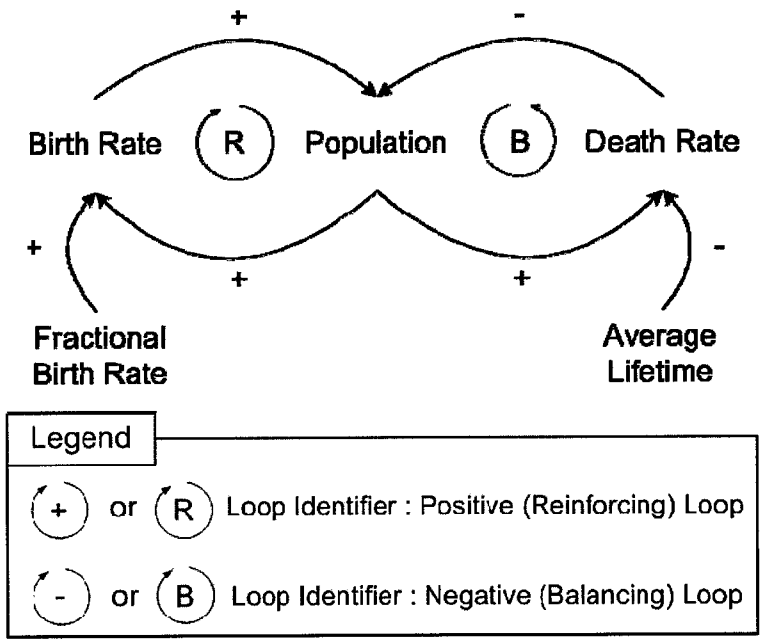

図 2.2.4 因果ネットワークの例[49]

2.3 シナリオの評価基準

1.1 節で述べたように，地球環境問題，及びその解決のために定義された持続可能性の定義，評価には個人の価値観が含まれる．したがって，それらに対して客観的な評価を下すことはできず，それは持続可能社会シナリオにおいても同様である．したがって，様々な価値観を持つ多人数(例：参加型シナリオ作成に巻き込まれたステークホルダー，あるいはシナリオの読者)によってこの前提に基づき，「良いシナリオ」の評価基準が提案されてきた[19][29][51]．そのうち，主要なものを以下に示す．

- 信ぴょう性(credibility)：シナリオが読者にとって妥当であり，信用に足ると判断されるか否か．信ぴょう性を担保するために必要な要素として，シナリオが分量的に十分に文書化されていること，およびシナリオが明瞭に文書化されていることが挙げられている[29]．また，シナリオのシナリオが内部において整合的であり，整合的であるためにはシナリオが論理的に書かれていることが重要である．また，シナリオの整合性を担保するために有効な手法として，数理モデルを用いたシミュレーションが挙げられている[29]．
- 包括性(comprehensiveness)：シナリオが考えうる将来の可能性を網羅しているかどうか[51]．かつ持続可能性に関連した要素を包括的に描いているかどうか[54]．
- 創造性(creativity)：シナリオが読者にとって興味深いものであるかどうか．創造性のあるシナリオは読者の常識を覆し，シナリオのテーマについての理解を深め，将来に向けた行動を促しうる[51]．
- 関連性(relevance)：シナリオの内容が読者に関連しているかどうか[51]．
- 正当性(legitimacy)：シナリオの読者にとって，その内容，および作成プロセスが公平なものであるか[51]．
- 目的への適合性(goal-directed)：シナリオを作成する上では特に，シナリオの内容が，その策定目的に合致したものであるかどうかが重要となる．またそれは，シナリオの読者への影響力につながる[29][51]．

2.4 第 2 章のまとめ

本章では，シナリオおよび持続可能社会シナリオの定義と特徴と，既存の持続可能社会シナリオの例を示した．さらに，持続可能社会シナリオの作成に関連した既存研究について述べた．

既存のシナリオ作成に関する研究においては，様々なシナリオ作成プロセス，及び作成プロセス内における作業や思考を支援するシナリオ作成技法が提案されている．

しかし，既存の作成研究において提案されてきたシナリオ作成プロセスは基本的に人手で実行することを想定しており，計算機上におけるシナリオ設計プロセスは提案されていない．その理由として，シナリオの計算可能なモデルが提案されていないことが挙げられる．すなわち，計算機上におけるシナリオの表現形式が定義されておらず，シナリオ作成において計算機上でシナリオを取り扱うことが不可能である．したがって，計算機上におけるシナリオモデルの取り扱い方，すなわちシナリオの作成プロセスも定義することができない．

また，既存のシナリオ作成技法は将来の構想を支援するためのもの(例えば Morphological Analysis[48]や SWOT 分析[52]など)が主であり，シナリオの詳細部分，特に文章を用いた定性的要素の作成を支援する技法は提案されていない．

フォアキャスティング型のシナリオ作成プロセスについては，例えば Jäger の作成プロセス[40]のように体系的な思考を行うためのシナリオ作成技法をプロセスに組み込み，具体的な作業手順を定めているものが存在する．対照的にバックキャスティング型のシナリオ作成プロセスについては，特定の題材(例えば Mander[44]であればエネルギー需給)を取り扱うシナリオの作成について具体的なプロセスは提案されているが，フォアキャスティング型シナリオ作成プロセスのように具体的な作成プロセスは提案されていない．また，シナリオの作成技法に関していうと，バックキャスティング型で本質的に重要である，目標とする将来像の導出を支援する技法はフォアキャスティング型のように作成プロセスに組み込まれてはいない．

第3章 持続可能社会シナリオシミュレータ

本章では，本研究の先行研究において提案された持続可能社会シナリオシミュレータと先行研究において提案された各種の方法論について述べる．3.1 節では，持続可能社会シナリオシミュレータの全体像について述べる．3.2 節から 3.5 節では，本研究の先行研究で提案された具体的な方法論について述べる．最後に 3.7 節において，先行研究の未解決問題と本研究の位置付けについて述べる．

3.1 持続可能社会シナリオシミュレータ[14][15]

持続可能社会シナリオシミュレータ(Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator)とは，シナリオの理解，分析，作成を統合的に計算機支援する，シナリオ設計における「知的 CAD システム」を実現することを目的として開発されているものである．

本節では，既存のシナリオ作成方法論が抱えるシナリオの理解，分析，作成に関する課題を挙げ，3S Simulator においてそれらの課題をいかなるアプローチで解決するのかについて述べる．更に 3S Simulator の仕様と意義について述べる．

3.1.1 シナリオ理解，分析，作成に関する課題

2.2 節で述べたように，シナリオを作成するために様々な方法論が提案されてきた．しかし，既存のシナリオ作成方法論においてはシナリオの理解，分析，作成に関して以下の 4 つの課題があることが指摘されている[14][15].

1. 論理構造を明確化した形式でシナリオを表現すること
   既存のシナリオにおいてはそこに含まれる論理関係が明確化されていない．したがって，シナリオに含まれる論理的な記述と論理的でない記述，シナリオに含まれる事実と仮定を区別することが困難である．論理的でない記述と仮定は，将来を記述するシナリオにおいて不可欠な役割を果たすものである．
2. シナリオとシミュレータを再利用可能とすること
   持続可能社会シナリオの記述には，しばしば数理的なモデルに基づくシミュレータが用いられる．しかし，シナリオとそれらのシミュレータが接続されていないため，既存のシナリオを作るために実行されたシミュレーションを検証し，再実行することができない．
3. 新規にシナリオを作成すること
   現在のシナリオ作成手法は十分に形式化されておらず，人手に大きく依存している．
4. シナリオを分析すること
   持続可能社会シナリオを分析する方法論は十分に形式化されていない．シナリオ分析には，シナリオ論理構造の分析，感度分析や what-if 分析が考えられる．what-if 分析とは，シナリオの前提条件が変化したときに結果がどのように変化するかを分析する手法である．

また，梅田[14]は，持続可能社会を実現するためには，多面的な視点から社会や地球環境問題を見る必要があることを指摘している．これはすなわち，持続可能社会の実現に向けてシナリオを有効に用いていくためには，2.1.3 節で挙げたような持続可能性に関係する個別の課題を取り扱ったシナリオを組み合わせ，関係づけることが必要になるということを意味している．この立場からすると，持続可能社会シナリオの理解，分析，作成に関して，更に以下の 2 つの課題が見出される．

5. シナリオ間の関係を明らかにすること
上述の通り，シナリオを通じて多面的な視点から持続可能社会を考えるためには，多様なテーマについてのシナリオを関係づけ，組み合わせることが必要であるが，異なるシナリオ間を関係づける方法論がない．
6. コンテンツを集積すること
IPCC の SRES に関連したシナリオは収集されデータベース化され，公開されているが，そこで利用されているシミュレータや，その他の様々なシナリオとシミュレータは再利用可能な形式で公開されていない．課題 2，5 と併せて，持続可能社会シナリオを作成するためには，シナリオとそこに使用されているシミュレータを再利用可能な形でアーカイブ化し，世界中のシナリオ作成者が既存のシナリオやシミュレータを自由に参照，利用できるようにするべきである．

3.1.2 3S Simulator のアプローチ

持続可能社会シナリオシミュレータは，3.1.1 項において挙げた 6 つの課題を，以下の 5 つの研究課題を設定し，それらを解決する方法論を提案し，実装することによって解決を試みる．

1. シナリオの構造化
シナリオを計算機処理可能化し，シナリオの合理的な理解を支援するために論理構造を明確化する方法論として，シナリオの構造化を行う．
2. シナリオとシミュレータの接続
既存のシナリオとシミュレータの再利用を可能とするために，シナリオとシミュレータを接続した「動的シナリオ」を作成する．シナリオとシミュレータを接続する(シナリオの中に含まれるシミュレーション条件や結果と，シミュレータに対する実際の入出力データファイルを関連付ける)ことで，シミュレーションの条件をシナリオ内で変更した際にシミュレーションが再実行され，その結果が動的に反映されるシナリオを指す．
3. シナリオの設計支援
シナリオの設計プロセスを形式化する．その設計プロセスに基づいて，場合によってはアーカイブされたシナリオやシミュレータを用いつつ，新たなシナリオの設計支援を行う．
4. シナリオの分析支援
既存のシナリオの分析を支援する．具体的には，定性的な，シナリオの論理構造に関する分析と，what-if 分析や感度分析といったシナリオの定量的な分析を支援する．論理構造分析はシナリオに対する評価を支援し，what-if 分析と感度分析は，既存のシナリオを利用した派生シナリオの作成を支援する．
5. シナリオとシミュレータのアーカイブ化

様々な機関によって作成されているシナリオおよびシミュレータをアーカイブとして集積する．特に，シナリオの作成にシミュレータが用いられている場合には，上記 2 で述べたように「動的シナリオ」としてシナリオとシミュレータを接続した状態でアーカイブ化する．アーカイブの利用により，既存シナリオの理解，及び分析とシナリオの新規作成を支援する．

3S Simulator では以上の研究課題 1~5 によって，3.1.1 項で述べたシナリオに関する課題 1~4 の解決を試みる．シナリオの作成を通じて持続可能社会を多面的にとらえるために必要な課題 5，6 を解決するためには，コンテンツとして様々なシナリオ，シミュレータを収集し，それらを相互に関係づける必要がある(図 3.1.1)．これらの要求に対しては，研究課題 1 のシナリオの構造化手法と，研究課題 5 のシナリオとシミュレータのアーカイブ化手法をそれぞれ適用する．

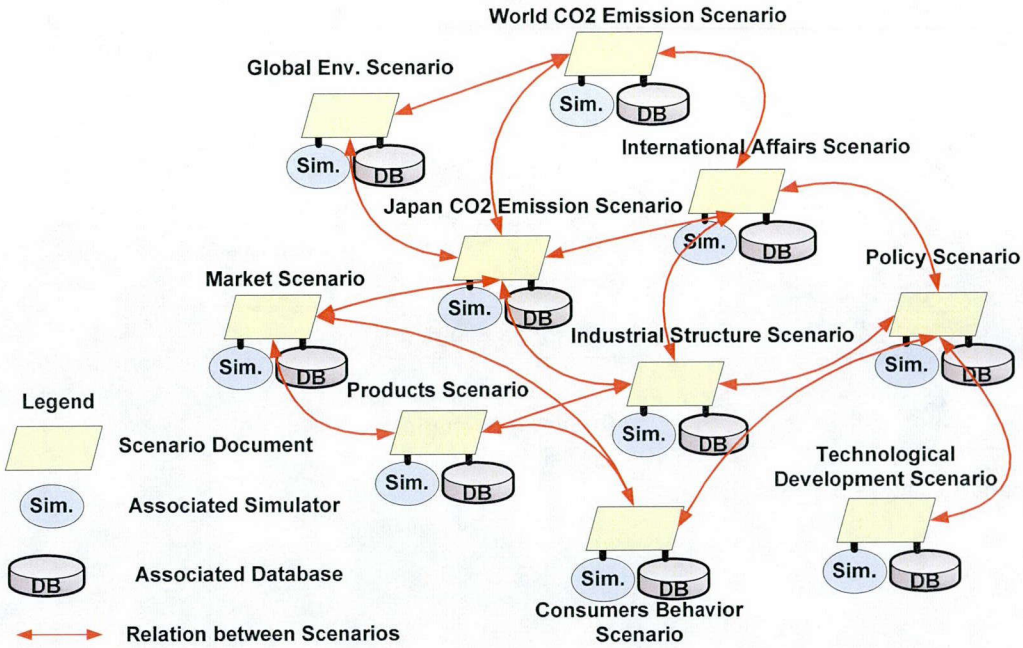

図 **3.1.1** 関連付けられた持続可能社会シナリオのイメージ**[54]**

3.1.3　3S Simulator の仕様

3S Simulator のアーキテクチャーを図 3.1.2 に示す．3.1.2 項の研究課題に対応した設計支援方法論を実装するために，以下の 5 つの要素で 3S Simulator を構成する．

- シナリオ構造記述支援システム：既存シナリオや新規に作成したシナリオの構造的な記述を支援する．
- シナリオアーカイブ：構造化されたシナリオ及びそれに付随するシミュレータを集積する．
- シナリオ設計支援システム：シナリオアーカイブを利用しながら，シナリオの新規

作成を支援する．

- シナリオ分析ツール：シナリオの論理構造分析と，アーカイブ化されたシミュレータを利用した what-if 分析や感度分析を可能とする．
- メディエータ：シナリオと，そのシナリオの記述に利用されるシミュレータ間のデータ交換を実行することにより，そのシナリオのシミュレーションを実行可能とする．更に，持続可能社会像を描くために複数のシナリオと付随するシミュレータを結合する際に，メディエータは複数の異なるシミュレータ間で入出力データなどの整合性管理を行う．

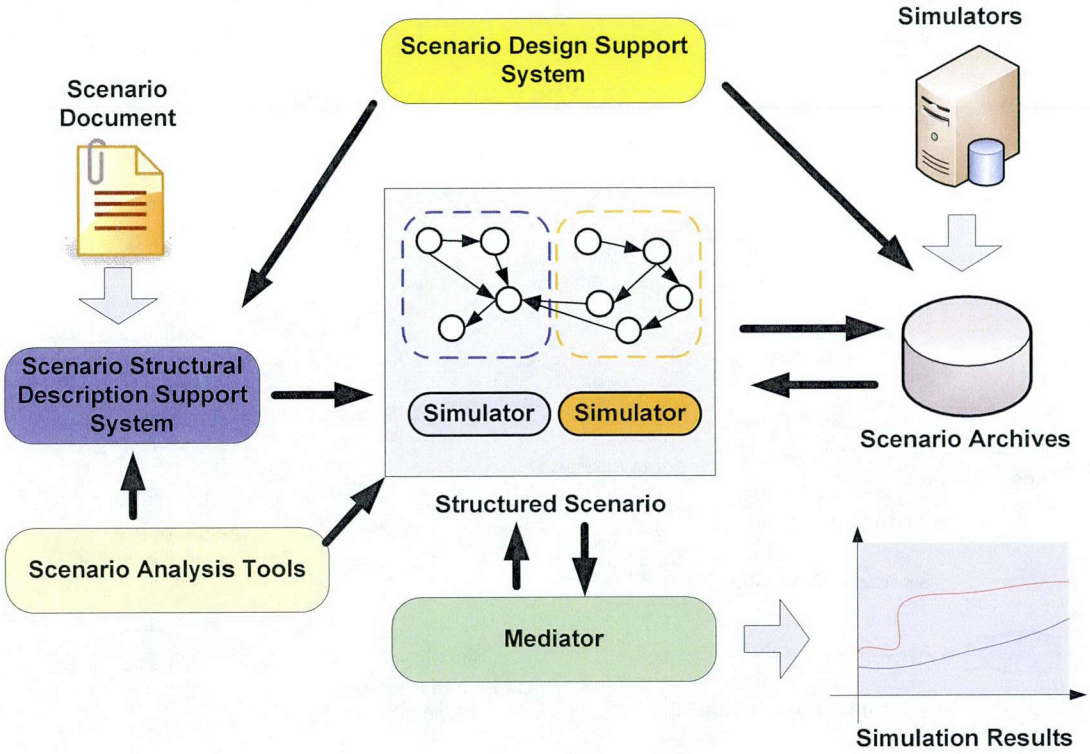

図 3.1.2 3S Simulator のアーキテクチャー

3.1.4　3S Simulator の意義

3S Simulator は，シナリオの理解，分析，作成を支援することによって，様々なステークホルダーがシナリオを通じて持続可能社会像を明確化することを可能とする．3S Simulator の使用イメージを図 3.1.3 に示す．3S Simulator には以下のような使用者が想定されており，それぞれの使用者にとって以下のような利点をもたらすことができるだろうと考えている．

- シナリオ研究者：本研究で提案するシナリオの設計支援手法に基づいて，持続可能社会シナリオを効率的に作成することができる．このとき，アーカイブ化された様々なシナリオ及びシミュレータが利用可能である．

- 政策立案者：適切な政策を選択するために，シナリオ上で様々な政策の効果を試行錯誤的にシミュレート，分析することができる．
- 企業の戦略立案者：アーカイブ化されたシナリオを調査，分析，評価することによって，企業の戦略，特に長期的な戦略や経営方針の策定を支援することができる．
- シミュレータの開発者：開発したシミュレータをアーカイブ化することによって，持続可能社会シナリオの作成のために，そのシミュレータを一般に公開することができる．
- 市民：シナリオを媒体や土台として，将来の望ましい社会をイメージすることができ，個々の意見について相互に議論することができる．

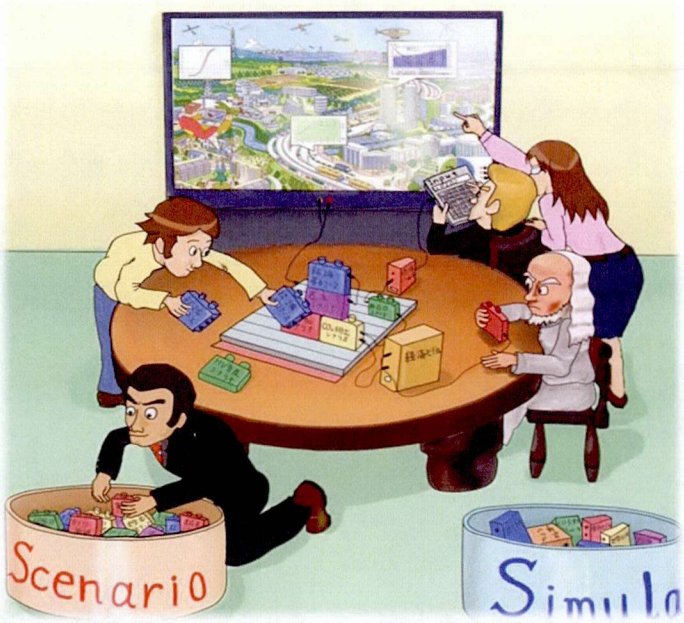

図 3.1.3 3S Simulator の使用イメージ

3.2 持続可能社会シナリオの構造的記述法[15][16]

3.2.1 アプローチ

シナリオの理解，分析，作成を計算機支援するためには，まず持続可能社会シナリオを計算機上で処理できるようにする必要がある.「持続可能社会シナリオの構造的記述法」は，3S Simulator におけるシナリオの表現方法論であり，シナリオを論理構造に基づいて構造化し，計算可能化する．構造的記述法を用いて記述されたシナリオのことを，構造的シナリオ(Structured Scenario)と呼ぶ．シナリオの構造化に基づきシナリオを構成する文章に含まれる論理の道筋を明確化することによって，シナリオの合理的な理解が期待できる．社会の将来を記述する上で，持続可能社会シナリオには将来に関する何らかの仮定や論理的な飛躍が必然的に含まれるが，シナリオに含まれる仮定と事実，論理的な部分と論理的でない部分は明確に区別するべきである.

本手法では，シナリオの論理構造をノードとリンクから構成されるグラフとして表現する．ノードはシナリオの構成要素，リンクは 2 つのノード間の関係を表現する．シナリオの構成要素には，サブシナリオ，サブシナリオを構成する文章，シナリオの記述を根拠づけるシミュレーション，シナリオに含まれる語句といった異なる粒度の物が含まれる．これら構成要素の粒度に基づいて，本手法では Scenario，Expression，Data，Word の 4 つのレベルでシナリオを構造化する.

- Scenario Level：シナリオに含まれる個々のサブシナリオを明確に区別し，それらサブシナリオ間の関係(階層関係など)を表現する.
- Expression Level：サブシナリオにおける文章(節：主語と述語動詞からなる文の要素)の構造を表現する. ここでは, 各サブシナリオの記述における論理関係(論理的飛躍，矛盾を含む)を表現する.
- Data Level：シナリオ記述に利用されるシミュレーション部分を表現する.
- Word Level：シナリオの文章に含まれる語句と語句の間の関係を表現する.

木下[15]は，シナリオの理解を支援するために，Scenario，Expression，Data の 3 つのレベルを定義した．これら 3 つのレベルで構造化されたシナリオの全体構造を図 3.2.1 に示す. Scenario Level によって，持続可能社会シナリオを構成する各サブシナリオを表現し，個々のサブシナリオは Expression Level が表現する「節」の集合(叙述的な文章)と，Data Level が表現するシミュレーション部分によって構成する．これにより，持続可能社会シナリオがしばしばシミュレーションと叙述的な文章を組み合わせて表現されることをモデル化する．また，構造的記述法ではレベル間の関係も定義する．ここでは，Expression Level と Data Level の間の関係は叙述的な文章とシミュレーション部分の間の関係を表し，Scenario Level と Expression， Data Level 間の関係はサブシナリオと「節」，シミュレーション部分の間の包含関係を表す.

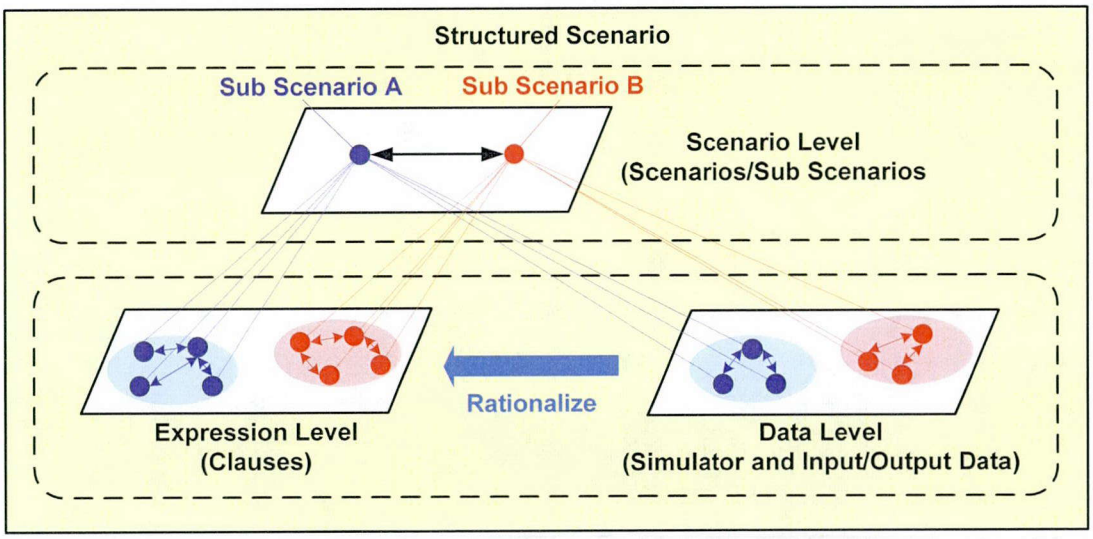

図 3.2.1 シナリオ構造化のアプローチ([15]を基に作成)

3.2.2 Scenario Level

持続可能社会シナリオには，不確定な未来に対応するためにしばしば複数のサブシナリオが含まれる．Scenario Level は，シナリオ全体とその中に含まれるサブシナリオ間の包含関係，及びサブシナリオ間の関係を表す．Scenario Level のノードとリンクの定義を表 3.2.1 に示す．

表 3.2.1 Scenario Level のノードとリンクの定義

タイプ		定義
Node	scenario	あるテーマについてのストーリー．シナリオ全体，あるいはシナリオを構成するサブシナリオを指す．
	Scenario_component	“scenario”ノードの構成要素(文章，あるいはシミュレーション部分を表す．)その構成要素がシナリオあるいはサブシナリオ内で果たす役割に応じて problem, hypotheis, simulation, result, discussion, conclusion の 6 つに分類される．
Link	consist_of(*A*,*B*)	シナリオとサブシナリオの間の関係．“scenario”ノード *A* が“scenario”ノード *B* を構成要素として含む．
	part_of(*A*,*B*)	シナリオ，サブシナリオとその構成要素の関係．“scenario”ノード *A* が“scenario_component”ノード *B* をその構成要素として含む．
	compare(*A*,*B*)	ノード *A* とノード *B* が対比，あるいは比較される．
	refer(*A*,*B*)	ノード *A* がノード *B* を参照している．

Scenario Level のノード

Scenario Level のノードは 2 種類定義されており，“scenario”ノードは，あるテーマについて記述されたストーリーを表し，そのテーマに関する結論を必ず含むとする．“scenario”ノードは 1 個のサブシナリオまたは複数のサブシナリオをまとめたシナリオを表す．“scenario”ノードには，シナリオ同士，サブシナリオ同士を区別するために，識別番号を表す ID とシナリオ名を表す scenario name を属性として持つ．もう 1 つの“scenario_component”ノードは“scenario”ノードの一部，すなわちサブシナリオの構成要素であり，文章の固まり，またはシミュレーション部分のいずれかを表す．ここでは，既存シナリオを調査した結果に基づき，“scenario_component”が個々のサブシナリオの中で果たす役割に応じて，以下の 6 つの分類を“scenario_component”に付与する．

- problem：サブシナリオの問題設定
- hypothesis：サブシナリオの前提または仮定
- simulation：サブシナリオの記述に利用されるシミュレーション
- result：シミュレーションの結果
- discussion：シミュレーション結果を含む，サブシナリオで導かれたある結果に関する考察
- conclusion：サブシナリオの結論

Scenario Level のリンク

Scenario Level には 4 つのリンクを定義する．4 つのリンクのうち，“consist_of”と“part_of”の 2 つのリンクはシナリオの階層関係を表現する．シナリオとサブシナリオ間あるいはサブシナリオ間の階層関係は“scenario”ノードの間を接続する“consist_of”リンクで表現される．他方，個々のサブシナリオとその構成要素間の階層関係は“scenario”ノードと“scenario_component”ノードの間の“part_of”リンクによって表現される．他の 2 つのリンクは階層関係以外の関係を表現する．シナリオ，サブシナリオ間の参照関係は“refer”リンクによって，対比関係は“compare”リンクによって表現される．“compare”リンクには接続される 2 つのノード間に方向性がないために，双方向のリンクとして定義する．

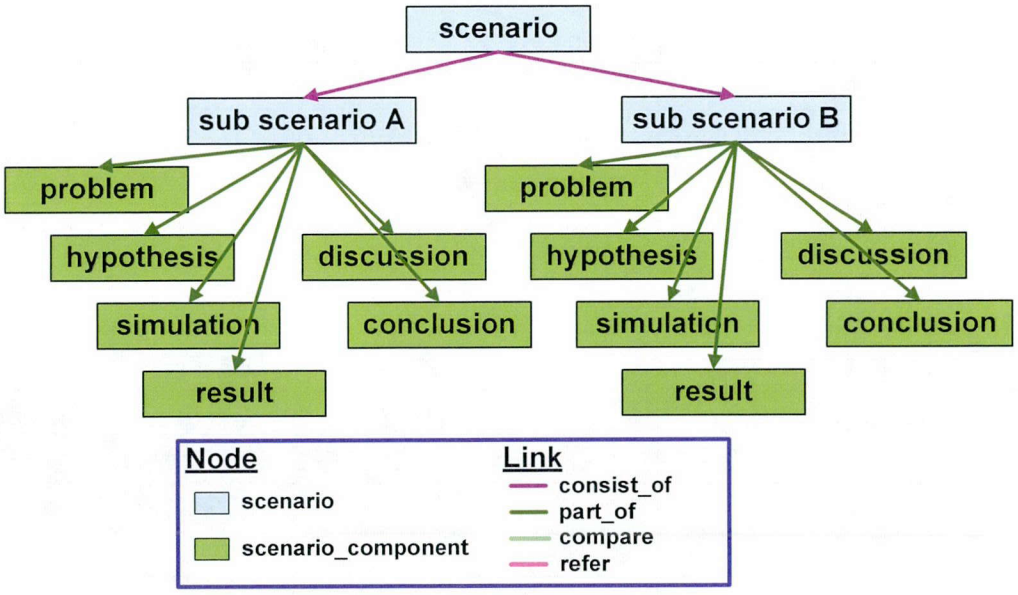

図 3.2.2 Scenario Level の構造

3.2.3　Expression Level

Expression Level は，各サブシナリオ内に含まれる叙述的な文章間の論理関係を表現するレベルである．Expression Level のノードとリンクの定義を表 3.2.2 に示す．

Expression Level のノード

7 つのノードの分類の中で，“problem”と“conclusion”はそれぞれシナリオの問題設定と結論を表す．この 2 種類のうち“problem”ノードは 3.2.2 項で述べた“scenario_component”ノードのうち，“problem”に分類されるものにのみ含まれるとする．同様に“conclusion”ノードは，“conclusion”に分類される“scenario_component”ノードに含まれるとする．他の“literature”，“fact”，“hypothesis”，“derived_fact”，そして“action”ノードは，問題設定と結論の間の論理展開を表現するために定義され，“hypothesis”，“result”，“discussion”に分類される“scenario_component”ノードに含まれるとする．これら 5 つのノードは，「仮説であるか，事実であるか」そして仮説である場合には「シナリオ内のステークホルダーによって選択可能な戦略，政策，行動か(内因的か)，そうでないか(外因的か)」の 2 つの基準に基づいて区別する．この 2 つの基準による区別を表 3.2.3 に示す．

表 3.2.2 Expression Level のノードとリンクの定義

タイプ		定義
Node	problem	シナリオを作成する動機，あるいはシナリオの問題.
	conclusion	シナリオの結論.
	literature	報告書，書籍，記事，他のシナリオなど，シナリオの中で参照されている参考文献.
	fact	科学的，歴史的な事実.
	hypothesis	シナリオの中で設定されている仮定や仮説.
	derived_fact	シナリオの内部で他のノードから導出されている記述. “causality”リンクによって他のノードから導出される.
	action	シナリオ内のステークホルダーによって取られる戦略，政策，行動など.
Type	paradox(*A*,*B*)	ノード *A* はノード *B* と矛盾する.
	causality(*A*,*B*)	ノード *B* はノード *A* から論理的に導出される.
	logical_jump(*A*,*B*)	ノード *B* はノード *A* から論理的な飛躍と共に導出される.
	equal(*A*,*B*)	ノード *B* の内容はノード *A* と等しい.
	compare(*A*,*B*)	ノード *B* はノード *A* と対比，比較されている.
	detail(*A*,*B*)	ノード *B* はノード *A* についての詳細な記述である.
	refer(*A*,*B*)	ノード *A* は，ノード *B* を参照する. ノード *B* は“literature”，“fact”ノードに限定される.

表 3.2.3 Expression Level のノードの分類

<table>
<tr><th></th><th>仮説</th><th>事実</th></tr>
<tr><td rowspan="3">外因的ノード</td><td colspan="2">literature</td></tr>
<tr><td>hypothesis</td><td rowspan="3">fact</td></tr>
<tr><td>derived_fact</td></tr>
<tr><td>内因的ノード</td><td>action</td></tr>
</table>

サブシナリオを構成する「節」を，仮説であるか，事実であるかで区別することにより，シナリオの「信憑性(credibility)」の評価を行いやすくすることができる．この基準に基づくと，Expression Level のノードのうち，事実に分類されるものは“fact”であり，仮説に分類されるものは“hypothesis”，“derived_fact”，“action”ノードである．参考文献を表す“literature”ノードには仮説も事実も含まれる可能性があるため，仮説と事実の両者に属するとする．シナリオの構造的記述法においては，事実ノードの真理値(シナリオにおいて記述の内容が正しいかどうか)は真(常に正しい)とする．逆に，他の 4 つのノード(“hypothesis”，“derived_fact”，“action”，“literature”)の真理値は定まらない．すなわち，これらのノードの

記述内容が正しいか否かは読み手の判断にゆだねられるとする．

更に，仮説に分類されるノードを内因的か，外因的かによって区別する．仮説ノードのうち, action ノードは内因的なノード, それ以外は外因的なノードであるとする. “hypothesis” ノードと“derived_fact”ノードの区別は, そのノードがどのようなリンクによって導出されたかによって行う．外因的な仮説のうち，後述する“causality”リンク，すなわち論理的な導出関係によって導出されているものを“derived_fact”とし，その真理値は，導出元のノードの真理値と同一であるとする．

Expression Level のリンク

Expression Level のリンクの分類を表～に示す．Expression Level のリンクには，導出関係のある 4 種類のリンク(“causality”，“logical_jump”，“detail”，“refer”)と，導出関係のない 3 種類のリンク(“compare”，“equal”，“paradox”)がある．ここで導出関係があるとは，リンクによって接続されている 2 つのノードのうち，ノードの表す意味的な面で一方のノードから他方のノードが導出されている場合を指す．

導出関係のあるリンクの中で“causality(*A*,*B*)”リンクは論理的な導出関係を表す．ここで論理的とは，A と B の真理値の値が一致することを表す．すなわち，ノード A から B に“causality”リンクが接続されている場合，ノード A の内容が真ならばノード B の内容も真，ノード A の内容が偽ならば，B も偽となる．

導出関係のあるリンクのうち，“causality”リンク以外の 3 つは論理的に弱い導出関係であるとする．これらのリンクでは，接続先と接続元の間で真理値の値が一致しないとする．その中でも“logical_jump(*A*,*B*)”リンクは,ノードAからノードBが論理的な飛躍によって導かれている関係を表す. “detail(*A*,*B*)”リンクにおいては, ノードBはノードAの内容を詳細化，あるいは定量化したものとなる．“refer(*A*,*B*)”リンクはノード A がノード B を参照する関係を表す．ノード B は“literature”と”fact”ノードのみが相当する．“refer”リンクにおいて，参照の方向はノード A からノード B であるが，導出の方向はノード B からノード A である．

導出関係のないリンクは，それぞれ接続された 2 つのノード間の対比，等価，矛盾の関係を表現し，これらの関係には方向性がないため，これらのリンクは双方向リンクであるとする．それらの中で，“equal”リンクは“causality”リンクと同様に，真理値が保存されるとする．

表 3.2.4 Expression Level リンクの分類

あるノードを意味的に他のノードから導出するリンク		あるノードを意味的に他のノードから導出しないリンク
論理的なリンク	論理的に弱いリンク	
causality	logical_jump	compare
	detail	equal
	refer	paradox

3.2.4 Data Level

Data Level は構造的記述法のうち，シナリオの作成において行われるシミュレーション部分を表現する．Data Level のノードとリンクの分類を表 3.2.5 に示す．Data Level のノードとリンクは図 3.2.3 に示すような構造，すなわち入出力データを表す“dataset”ノードと“simulator”ノード，そして“dataset”ノードと“simulator”ノードの間を接続する“input”，“output”リンクのセットによって，シナリオに含まれるシミュレーション部分を表現する．

表 3.2.5 Data Level のノードとリンクの定義

タイプ		定義
Node	simulator	シナリオの記述に用いられているシミュレータ．
	dataset	シミュレータの入出力データのセット．一連の“datumlist”ノードによって表現される．
	datumlist	時系列の中での同一時点における“datum”ノードのセット．
	datum	1 つ 1 つの入出力データ．データのラベル(label)，データの値(value)，データの単位(unit)で構成される．
Link	input(*A*,*B*)	ノード *A*(“dataset”)のデータが，ノード *B*(“simulator”)に入力されている．
	output(*A*,*B*)	出力データを表すノード *B*(“dataset”) がノード *A*(“simulator”)ノードから出力される．

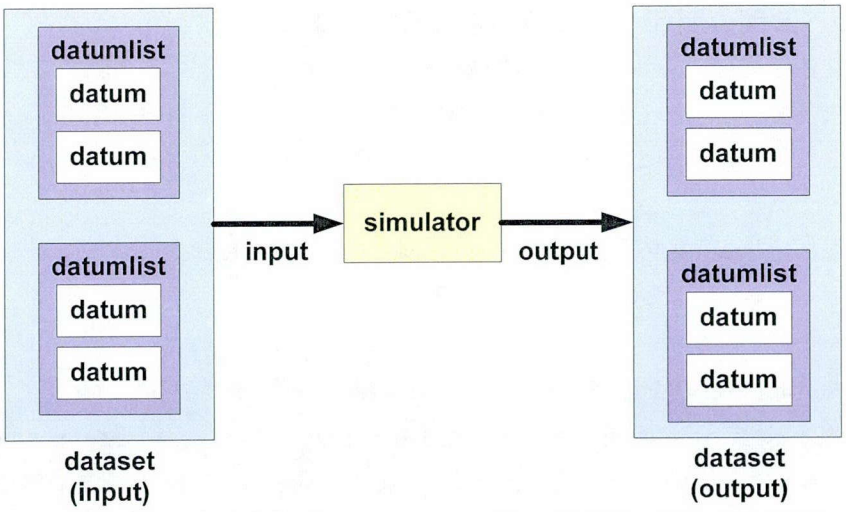

図 **3.2.3 Data Level** によるシミュレーション部分の表現

Data Level のノード

Data Level では，シミュレーションに用いられるシミュレータを表すために“simulator"ノードを，入出力データを表現するために“dataset”，“datumlist”，“datum”ノードの 3 種類を定義する．“simulator”ノードには，異なるシミュレータ間を区別するために識別番号を表す ID とシミュレータの名前に相当する simulator name の 2 つの属性を付与する．

“dataset”，“datumlist”，“datum”ノードはそれぞれ，シミュレータに入力(出力)されるデータの集合，時系列のある時間におけるデータ一組，個々のデータを表す．例えば 1990 年から 2008 年までの日本の年間 CO2 排出量，日本人一人当たりの年間 CO2 排出量のデータがあるとき，Data Level においては「1990 年」，「1990 年の日本の年間 CO2 排出量」，「1990 年の日本人一人当たりの年間 CO2 排出量」それぞれが“datum”ノードに相当する．この 3 つの情報を時系列で統合した「1990 年の CO2 排出量データ」は“datumlist”に相当する．更にこれらの時系列データの組を 1990 年のものから 2008 年のものまで統合したものを「1990 年から 2008 年までの日本の年間 CO2 排出量と日本人一人あたりの年間 CO2 排出量データ」は“dataset”に相当する．“datum”ノードには，データ名，値，単位(例えば CO2 排出量，11，億トン)の 3 つの属性を含み，それによって個々のデータを表現する．

Data Level のリンク

Data Level のリンクは“input”と“output”の 2 種類であり，それぞれシミュレータへのデータの入力とシミュレータからの計算結果の出力を表す．シミュレータが依拠する数理モデルによって，入力データと出力データが論理的に整合していると考えるため，構造的記述法においてこれらのリンクは Expression Level の“causality”, “equal”と同様にノードの内容の真理値を保存すると考える．

3.2.5 レベル間の関係づけに用いられるリンク

構造的記述法では，各レベル内で構造化をするだけでなく，レベル間でも関係づけを行うことによってシナリオを構造化する．本節では，このレベル間の関係づけのために定義されているリンクについて述べる．構造的記述法では，レベル間の関係づけを行うリンクには以下の 2 つが定義されている．

(1) Scenario Level と Expression Level，Data Level を関係づけるリンク
(2) Expression Level と Data Level を関係づけるリンク

(1) Scenario Level と Expression Level，Data Level を関係づけるリンク

Scenario Level と Expression, Data Level を関係づけるリンクは, それぞれの Expression Level のノード，Data Level のノードが，どの“scenario_component”ノードに含まれるのかを表す．そのためのリンクとして，ここでは “inlcude(*A*,*B*)”が定義されている．このリンクは，ノード A(“scenario_component”ノード)がノード B(Expression Level または Data Level のノード)をその中に含んでいることを表す．これによって，サブシナリオに含まれる Expression Level と Data Level のノードを 6 種類の“scenario_component”ノードに分類し，それによってシナリオを意味の固まりで区切って理解することが可能となる．

(2) Expression Level と Data Level を関係づけるリンク

Expression Level と Data Level の間を接続するリンクは，シナリオの文章とシミュレーション部分の関係を明示化することを目的として，表 3.2.6 に示すように 3 種類定義されている．

表 3.2.6 Expression Level と Data Level 間のリンク

Type	*Definition*
data_extraction(*A*,*B*)	ノード *A*(Expression Node)に記述されている入力データがノード *B*(“datum”)に抽出されている．
data_detail(*A*,*B*)	ノード A の内容が, 入力データとしてノード B(“datum”)ノードにおいて定量化されている．
result_export(*A*,*B*)	ノード *A*(“dataset”)のシミュレータの出力データがノード *B*(Expression Level)に向かって出力されている．

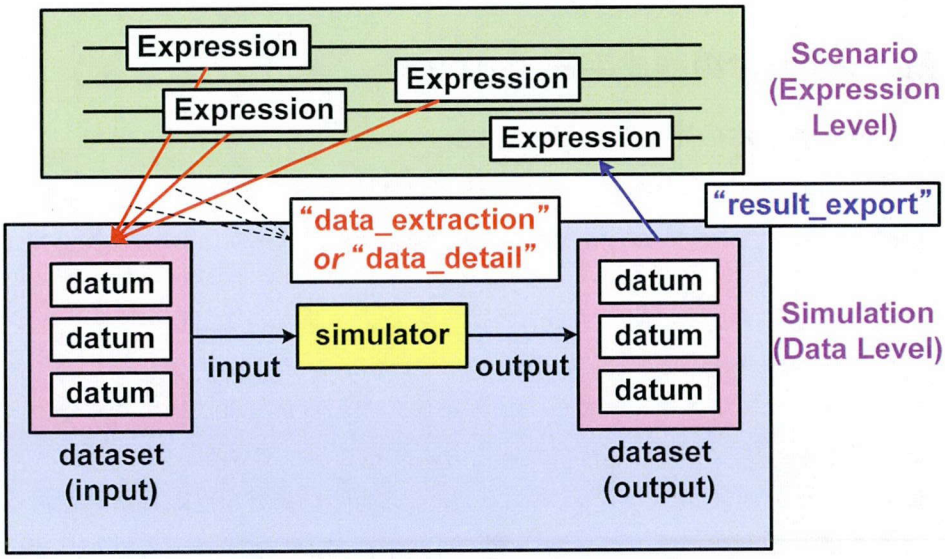

図 3.2.4 Expression Level と Data Level の関係

経験的に，シミュレーションの入力条件がシナリオの文中で明示的に設定されることは少なく，設定される際には入力パラメータ全体よりも個々のパラメータについて言及される場合が多い．したがって，シミュレーション条件を設定している Expression Level のノードとシミュレーションの入力データを表す Data Level のノードを接続するリンクには，"data_extraction"と"data_detail"の 2 種類を設定する．2 つのうち"data_extraction(*A*,*B*)"リンクは，Expression Level のノードであるノード A において，ノード B("datum"ノード)に相当する入力パラメータが明示的に設定されていることを表す．それに対して，"data_detail(*A*,*B*)"リンクは，ノード A(Expression Level のノード)からノード B("datum"ノード)に向かって，入力パラメータが暗黙的に定量化されていることを表す．

他方，シミュレーション結果の出力は，"result_export(*A*,*B*)"リンクによって表現する．入力条件の設定とは異なり，シミュレーション結果は個々のパラメータよりも出力データの全体に対して言及することが多いため，このリンクは"dataset"ノードから Expression Level のノードに向けて接続される．

論理性の観点からすると，"data_extraction"リンクにおいては，入力パラメータが明示的に設定されているため，Expression Level の"causality"リンクなどと同様に真理値が保存される論理的なリンクであるとする．他方，"data_detail"リンクに接続された Expression Level のノードでは入力パラメータの値が暗黙的に設定されるため，このリンクは真理値の保存されない論理的に弱い関係であるとする．"result_export"リンクの接続先の Expression Level ノードには出力データが含まれるため，このリンクは論理的な関係であるとする．

3.3 動的シナリオの作成手法[15][17]

3.3.1 動的シナリオの定義

動的シナリオとは，シナリオ内に記述されているシミュレーションの条件とシミュレーション結果を，シミュレータの入力，出力データに関連付けることによって，シナリオ内でシミュレーション条件を書き換えた際にシミュレーションが再実行され，新しいシミュレーション結果をシナリオに反映することができるシナリオのことを指す．動的シナリオには以下の 4 つの利点が想定されている．

- シナリオにおいて想定されている前提条件が変わったときに結果にどのような影響が出るかを，感度分析の実行によって分析することができる．
- 既存のシナリオにおいて，シミュレーション条件を変更した際の結果を得ることができる(既存シナリオとシミュレータの再利用)．これにより，元々描かれていた将来像と異なる将来像を探索することができる．
- 新規シナリオ作成時に，シナリオアーカイブに格納されている動的シナリオを再利用できる．動的シナリオの利用によって，既存シナリオ内の前提条件を変更して既存シナリオの「派生シナリオ」を作成することにより，新規シナリオと既存シナリオの間の整合性をとることができる．
- 新規シナリオ作成時に，そのシナリオの記述を根拠づけるシミュレータが動的に利用可能となる．シミュレーション条件を試行錯誤的に与えたときのシミュレーション結果を容易に求めることができる点で，シナリオ作成を効率化できる．

3.3.2 動的シナリオの実現のための課題とアプローチ

先行研究において，動的シナリオを実現するための課題として以下の 2 つが指摘されている．

1. シナリオの文章とシミュレータの関係を記述すること．
2. シナリオとシミュレータ間で入出力データを交換すること．

課題 1 に対しては，図 3.2.4 に示す，Expression Level と Data Level とその間のリンクを用いて解決する．すなわち，シナリオ文章の中に書かれているシミュレーションの入力条件と，シミュレータの入力データを“data_extraction”，“data_detail”リンクによって関係づけ，シミュレーション結果とそれに関するシナリオ内の記述を“result_export”リンクによって結びつける．

課題 2 に対しては，シナリオとシミュレータの入出力データ間のデータ交換を実現するための方法を提案する．そのために，3.1.3 項で述べたメディエータの一部として，データ交換をおこなう Dataset Manager と呼ばれるツールを構築する．更に，Dataset Manager で利用する既存のシミュレータを保存，管理し，シミュレータを再利用可能化するために Simulator Database を構築する．

3.3.3 シミュレータの再利用可能化

Simulator Database には，シミュレータの検索と再利用を可能とするために，以下の情報を保存する．

- ID：シミュレータを区別するための ID 番号 Data Level の"simulator"ノードが属性として保持する値と同一とする．
- シミュレータ名：シミュレータの名称．
- シミュレータ本体へのパス：シミュレータ本体であるプログラムの位置を指定する計算機上のアドレス．
- 入力/出力データ定義：シミュレータの入力/出力データの定義ファイルへのパス．
- 入力/出力データ：シミュレータの入力/出力データを記録したファイルへのパス．
- 入力/出力データ変換：シミュレータの入力/出力データの変換ファイルへのパス．

「ID」と「シミュレータ名」,「シミュレータ本体へのパス」によって，シナリオ内で用いられているシミュレータとデータベースの中に格納されているシミュレータの情報，そしてシミュレータ本体を関連付ける．それ以外の 3 つの情報は，シナリオとシミュレータを接続するために必要なファイルへの参照アドレスを保持する．これら 3 つの情報が参照しているファイルの本体は，それぞれ以下のようなものである．

- 入力/出力データ定義：シミュレータの入力/出力データのパラメータ名(ラベル)と単位のリストを定めたファイル．
- 入力/出力データ：シミュレータが処理可能な形式で記述した入力/出力データファイル．(例えば，CSV 形式により記述された入力/出力データの値のリスト)
- 入力/出力データ変換：シミュレータの入力/出力データのパラメータ名(ラベル), 値, 単位，と個々のシミュレータの処理可能な形式の間の変換規則を記述したファイル．本システムでは，XSL Transformation (XSLT)[54]を用いて定義する．

このように，入力/出力データ定義，入力/出力データ，入力/出力データ変換それぞれのファイルをシミュレータ本体と同時に保存することによって，Simulator Database に格納したシミュレータを異なるシナリオ間で再利用可能とする．

3.3.4 シナリオとシミュレータの接続手順

Data Manager は Simulator Database に格納されたシミュレータを用いて実際にシナリオとシミュレータ間で動的にデータをやり取りするツールである．構造化されていない既存のシナリオにおいて動的にシミュレーションを行う場合には, 以下の 9 ステップで実行する．

1. ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いて，サブシナリオ全体を表す"sceanrio"ノ

ードを作成する．このとき支援ツールが“scenario”ノードの直下に 6 種類の“scenario_component”ノードを自動的に作成する．

2. ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いてシナリオを Expression Level で構造化する．
3. ユーザが構造化シナリオに Data Level の“simulator”ノードを挿入する．“simulator”ノード挿入時には，構造化支援ツールが Simulato Database に問い合わせることによって，利用可能なシミュレータの一覧が表示され，ユーザはそこから選択する．仮に使用したいシミュレータが Simulator Database に登録されていない場合には，ユーザがシミュレータを登録する．
4. Data Manager が，“simulator”ノードの ID をキーとして，Simulator Database に検索をかけ，使用するシミュレータを同定する(図 3.3.1 参照).
5. シミュレータの入力データ定義ファイルにもとづいて Dataset Manager がユーザにシミュレーションに必要な入力データのパラメータ名と単位を提示する．ユーザは，シナリオ内に記述のある入力パラメータはその値を直接入力，ない場合には，ユーザ自身が補完して入力を行う．パラメータの入力と同時に，ユーザはシナリオ内の記述と，入力パラメータを関連付ける．シナリオの記述内において入力パラメータが設定されている場合には“data_extraction”リンクを，ユーザがパラメータを保管した場合には“data_detail”リンクを接続する．
6. Dataset Manager が入力データのパラメータ名，値，単位を格納した”dataset”ノードを構造化シナリオ内に挿入する．同時に Dataset Manager は入力データ変換を用いてシミュレータが読み取れるデータ形式の入力データファイルを作成し，Simulator Database に登録されている入力データの参照アドレスに入力データファイルをコピーする．
7. Dataset Manager がシミュレータを起動し，手順 6 で作成した入力データを使用してシミュレーションを実行する．
8. Dataset Manager が，手順 7 の結果として出力されるシミュレーション結果のデータファイルに対して出力データ定義ファイル，出力データ変換ファイルを適用し，出力の“dataset”ノードを作成，構造化シナリオ内に挿入する．ユーザは出力“dataset”ノードと，シミュレーション結果に言及しているシナリオ内の記述を “result_export”リンクで接続する．
9. Dataset Manager が手順 6 と手順 8 で作成した入出力の“dataset”ノードを手順 2 で作成した“simlator”ノードと“input”，“output”リンクで接続する．

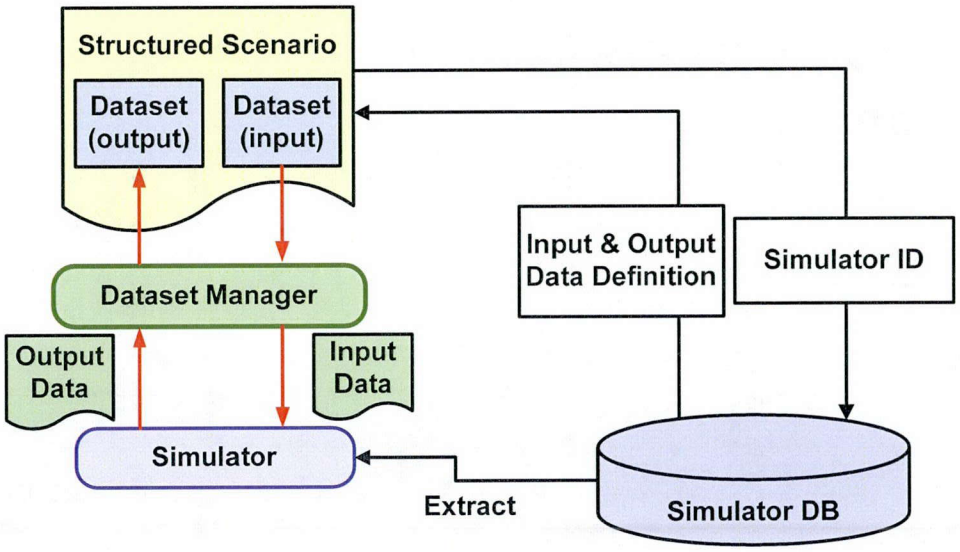

図 **3.3.1** シナリオとシミュレータの接続

3.4 シナリオの論理構造分析手法[15][16]

3.4.1 目的とアプローチ

先行研究で提案されたシナリオの論理構造分析の目的は，シナリオの評価を支援するために，3.2 節で述べたシナリオの構造的記述法に基づいてシナリオの論理構造を分析することである．この手法では，構造的記述法の，特に Expression Level と Data Level を用いて，あるサブシナリオの結論の導出根拠を定式化し，シナリオの信憑性を評価する．この手法は以下の 2 つのアプローチに基づいて提案する．

1. サブシナリオの結論の根拠を定式化する．その際，リンクの論理性に着目することで，論理的な根拠と論理的に弱い根拠の 2 種類の根拠を提案する．
2. シナリオの信ぴょう性を図るための指標として，シナリオがどの程度論理的に書かれているかを測る指標を提案する．

3.4.2 シナリオの根拠の定式化

アプローチ 1 に従い，この論理構造分析手法では，リンクの論理性に基づいて「根拠集合」と「基底」の 2 種類の根拠を提案する．根拠の定義に用いる Expression Level, Data Level, Expression-Data Level 間のリンクを論理性に従って分類したものを表 3.4.1 に示す．

表 3.4.1 論理性に基づくリンクの分類

レベル	リンクのタイプ	
	論理的	論理的に弱い
Expression Level	causality, equal	logical_jump, detail, refer, compare, paradox
Data Level	input, output	
Expression-Data Levels	data_extraction, result_export	data_detail

(1) 根拠集合

根拠集合(rationale set)は，「サブシナリオに含まれる各結論を導出するための根拠全体」として定義され，あるサブシナリオのある結論を支持するノードとリンクの集合である．これはすなわち，Expression と Data Level において結論(Expression Level の“conclusion”ノード)と導出関係をもつリンクによって接続されたノードということになる．ここで導出関係があるリンクと導出関係のないリンクは表 3.4.2 の通りである．

表 3.4.2 導出関係の有無によるリンクの分類

レベル	リンクの分類	
	あるノードから別のノードを意味的に導出するリンク	あるノードから別のノードを意味的に導出しないリンク
Expression Level	causality, logical_jump, detail, refer	equal, compare, paradox
Data Level	input, output	
Expression-Data Level	data_detail, data_extraction, result_export	

いま，あるサブシナリオを表す“scenario”ノードに含まれる Expression Level と Data Level の全ノードとそれらとつながる全リンクの集合をそれぞれ N, L とする．図 3.4.1 にあるサブシナリオに含まれる i 番目の“conclusion”ノード $n_c^i \in N$ とリンクで関連付けられたノードとリンクを示す．このとき，n_c^i の根拠集合に示されるノードとリンクの集合は，表 3.4.2 内の導出関係を持つリンクと 2 つのノードが等価であることを表す“equal”リンクを用いて以下のように抽出する．

$$N_R^* = \{n | n \in N, type(n) \notin \text{problem}\} \tag{3.1}$$

$$L_R^* = \left\{ l \middle| l \in L, type(l) \in \left\{ \begin{array}{l} \text{causality, equal, logical_jump, detail, refer, input,} \\ \text{output, data_extraction, data_detail, result_export} \end{array} \right\} \right\} \tag{3.2}$$

ここで，*type(n)*と *type(l)*はそれぞれノード n とリンク l の種類を表す．いま，グラフ $G_R=(N_R^*, L_R^*)$を定義すると，n_c^i に対する根拠集合は G_R のサブグラフとなる．n_c^i に到達可能なサブグラフ $G_R^S=(N_R^S, L_R^S)$ $(N_R^S \in N_R^*, L_R^S \in L_R^*)$と定義すると，根拠集合 rationale($n_c^i$)を以下の式で得る．

$$rationale(n_c^i) = \{G_R^S - n_c^i\} \tag{3.3}$$

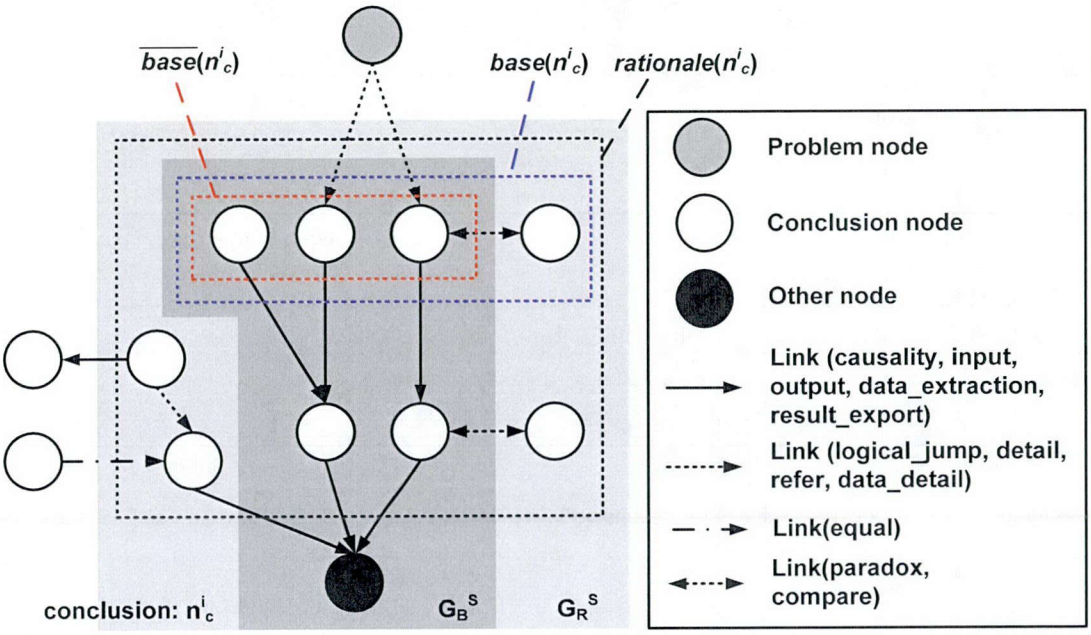

図 **3.4.1** ある結論 n_c^i を導出する根拠集合と基底

(2)　基底

基底(base)は，「あるサブシナリオのある結論と論理的な関係を保持する始点ノードの集合」である．別の言い方をすれば，ある結論の「基底」が信じられればその結論も信じられると考えられ，“conlusion”ノードの真理値は基底に含まれるノードの真理値の論理積として計算できる．図 3.4.1 に示すようにあるサブシナリオに含まれる i 番目の“conclusion”ノード $n_c^i \in N$ に対する基底を抽出する．まず，論理的な関係を表すリンクの集合を次式で定義する．

$$L_B^* = \{l | l \in L, type(l) \in \{\text{causality, input, output, data_extraction, result_export}\}\} \quad \textbf{(3.4)}$$

グラフ $G_B=(N, L_B^*)$において，n_c^i に到達可能なサブグラフ $G_B^S=(N_R^S, L_R^S)$ $(N_B^S \in N, L_B^S \in L_B^*)$と定義すると，$n_c^i \in N$ に論理的に到達可能な始点ノードの集合は次式で抽出できる．

$$\overline{base}(n_c^i) = \{n | n \in N^S, n \neq n_c^i, id(n) = 0\} \quad \textbf{(3.5)}$$

ここで，$id(n)$はサブグラフ G_B^S のノード $n \in N_B^S$ に入力するリンクの数である．つまり，$id(n)$ の値が 0 のノードはそのノードに入力されるリンクを持たない=始点ノードであるということができる．最後に，$n_c^i \in N$ に論理的に到達可能な始点ノードの集合と“equal”で接続される

ノードを含めることで，n_c^iに対する基底を以下の式で定式化する．

$$base(n_c^{\ i}) = \left\{ n \left| \begin{array}{l} n \in \overline{base}(n_c^{\ i}) \vee^{\exists} l(l \in L, n \in N, \\ type(l) = \text{equal}, l(n, n'), n' \in \overline{base}(n_c^{\ i})) \end{array} \right. \right\} \tag{3.6}$$

ここで，$l(n,n')$はノード$n \in N$と$n' \in N$を接続するリンクを表す．

3.4.3 シナリオの論理性指標

シナリオの信ぴょう性には，(1)記述内容が意味的に確からしいかどうか，(2)記述が論理的であるか，の 2 点が少なくとも考えられる．ここでは，(2)の意味における信ぴょう性を定量的に評価可能にする．そのために，ここではアプローチ 2 に従って，論理構造分析手法において，シナリオの信ぴょう性を評価するためにシナリオの論理展開がどの程度論理的であるかを評価する論理性指標(*LI*: Logicality Index)を定義する．あるサブシナリオ$G^S=(N^S, L^S)$の*LI*は，シナリオの根拠全体に対して，論理的に結論を導出する根拠の割合と定義する．

いま，$Num(N)$をノード集合Nの個数，$N_E(G)$をグラフGに異含まれる Expression Level のノード集合としたとき，*LI*を次式で定義する．

$$LI = \frac{Num(N_E(G_C^{\ U}))}{Num(N_E(G_R^{\ U}))} \times 100 \tag{3.7}$$

ここで，G_R^UはサブシナリオG^Sに含まれる結論n_c^iに対する根拠集合の和集合，G_C^Uはグラフ$G^S=(N^S, L^S)$において，サブシナリオG^Sに含まれる任意の結論n_c^iに対して論理的に到達可能なサブグラフとする．すなわち，G_R^UとG_C^Uはそれぞれ以下のように表すことができる．

$$G_R^{\ U} = \bigcup_i rationale(n_c^{\ i}) \tag{3.8}$$

$$G_C^{\ U} = (N_C^{\ S}, L_C^{\ S})(G_C^{\ U} \subseteq G_R^{\ U}) \tag{3.9}$$

式(3.9)において，G_C^UはG^Sに含まれる任意の結論n_c^iと「論理的な」関係を持った根拠であることから，その構成要素であるノードとリンクはそれぞれ式(3.10), (3.11)の条件を満たす．

$$N_C{}^S = \left\{ n \middle| n \in N^S, type(n) \neq \text{conclusion} \right\} \tag{3.10}$$

$$L_C{}^S = \left\{ l \middle| \begin{array}{l} l \in L^S, type(l) = \text{causality, equal, input, output, data_extraction} \\ \text{result_export} \end{array} \right\} \tag{3.11}$$

LI のスコアの満点は 100 であり，その時サブシナリオに含まれる全ての結論とそれらを導出するための全ての根拠の間が論理的な関係で記述されていることを意味する．ただし，持続可能社会シナリオには，論理的に弱い記述が必須となるため，*LI* は 100 であることが必ずしも良いとは限らない．また，外部で設定された根拠に相当する“literature”や“fact”を参照すればするほど，*LI* の値は想定的に低下してしまうという課題がある．

3.5 既存シナリオの what-if 分析による派生シナリオの作成手法 [15][18]

3.5.1 What-if 分析の定義とアプローチ

先行研究における what-if 分析とは，既存シナリオ上で記述された前提条件を部分的に変更したときの結果をもとめ，その結果をもとに元のシナリオとは異なる結論を持った派生シナリオを作成することであると定義する．先行研究においては，以下の 4 つのアプローチに基づいて方法論が提案された．

1. 既存シナリオにおいて，論理構造分析で抽出された基底に基づいて変更すべき条件を抽出する．
2. 既存シナリオ内において条件を変更したときの結果を，動的シナリオを用いて得る．
3. 既存シナリオから派生シナリオの作成を支援するために，シナリオの基本パターンを定義する．
4. what-if 分析を実行する対象とする既存のシナリオを再利用可能化するために，シナリオをアーカイブ化する Scenario Database を構築する．

3.5.2 シナリオの基本パターン

アプローチ 3 に基づいて，what-if 分析によって既存のサブシナリオから派生サブシナリオが展開された際のシナリオ全体の基本パターンを図 3.5.1 のように定義する．これに対しては，3.2.2 項で述べた，構造的記述法の Scenario Level，特に“scenario_component”の 6 つの分類を用いる．

このシナリオの基本パターンは以下のことを表す．既存サブシナリオと派生サブシナリオは，問題設定と，シミュレーションの前提条件の一部を共通とし，それを図 3.5.1 中の(A)のように親シナリオに属する“problem”ノードと“hypothesis”ノードに格納する．また，派生サブシナリオ作成後の結論は，既存サブシナリオと派生サブシナリオの結論を比較し，議論することで導出される．これについては，図 3.5.1 の(B)部のように親シナリオの“discussion”と“conclusion”が相当する．

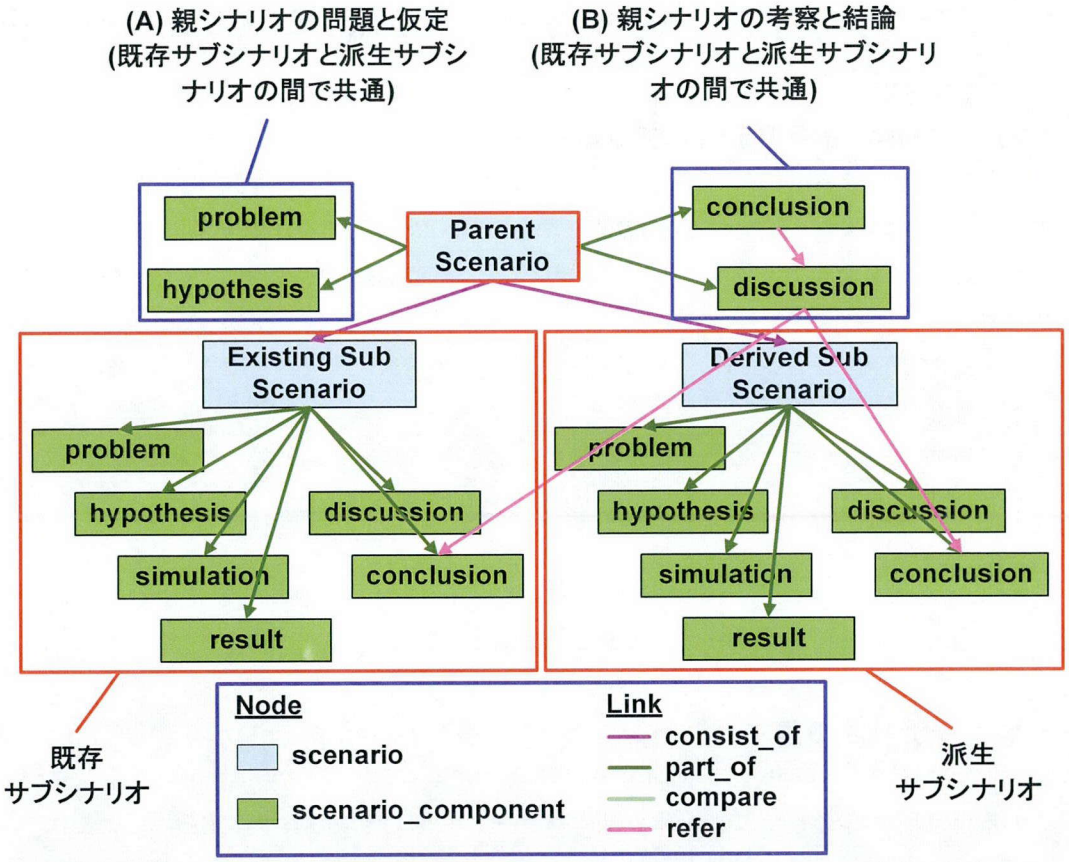

図 3.5.1 what-if 分析されたシナリオの基本パターン

3.5.3　シナリオのアーカイブ化

アプローチ 4 に従って，この手法では既存シナリオをアーカイブ化する Scenario Database を構築する．このデータベースでは，シナリオの親子関係(親シナリオとサブシナリオの関係)，シナリオの家族関係(既存シナリオと，what-if 分析後の派生シナリオを含むシナリオ全体の関係)を表現するために，1 つのサブシナリオに対して以下の情報を保持する．

- ID：サブシナリオの ID 番号
- name：サブシナリオの名前
- parent ID：サブシナリオの親シナリオを表す ID
- scenario path：構造化されたサブシナリオへのパス
- family ID: サブシナリオが所属するシナリオファミリーの ID. 既存シナリオと what-if 分析後のシナリオ全体(既存シナリオ，派生シナリオ，及びそれらの親シナリオを含む)には，同一のシナリオファミリーID を持たせる．
- family name：サブシナリオが所属するシナリオファミリー名

このうち，parent ID はサブシナリオと親シナリオの関係を表し，family ID はシナリオの家族関係，すなわち what-if 分析前のシナリオと what-if 分析後のシナリオの関係を表す．

3.5.4 what-if 分析の手順化

本手法で提案するシナリオの what-if 分析は，以下の手順で実行する．

1. what-if 分析の対象とするシナリオ(元シナリオ)を Scenario Database から選択してくる．ない場合にはユーザが登録する．
2. ユーザが元シナリオに対して論理構造分析を実行して基底を抽出する．
3. ユーザが基底の中から変更すべき条件を複数選択する．
4. 後述する what-if 分析ツールは，図 3.5.1 の基本パターンに基づいて元シナリオを操作する．まず，what-if 分析ツールは元シナリオの既存サブシナリオの中から“simulation”，“result”，“discussion”，“conclusion”コンポーネントを派生サブシナリオにコピーする．そして既存サブシナリオの“hypothesis”，“problem”ノードの内容はそれぞれ既存サブシナリオ，派生サブシナリオに共通の仮定，問題設定として，親シナリオの“hypothesis”，“problem”ノード(図 3.5.1 の(A)部)に移動させる．
5. 派生シナリオ作成のために既存サブシナリオの内で変更した条件を派生サブシナリオの“hypothesis”ノード内に記述する．
6. ユーザが動的シナリオを用いて派生サブシナリオのシミュレーションを実行し，その結果と考察，結論を派生サブシナリオの“result”，“discussion”，“conclusion”コンポーネントに記述する．
7. what-if 分析ツールが，以上の結果として作成されたシナリオを Scenario Database に登録する．新たに作成したシナリオと手順 1 で選択したシナリオは Scenario Database 上では同一の family ID が付与されて，シナリオ間の家族関係が明確化される．

3.6 インプリメンテーション[15]

以上述べてきた各方法論を 3S Simulator のプロトタイプとして実装した．実装したプロトタイプシステムでは，構造的記述法の構造情報を，文書に対して様々な情報を付加することができる XML(eXtensible Markup Language)[54]を用いて記述する．また，プロトタイプシステム自体は Visual C#[56]を用いて実装されている．このシステムの構成を図 3.6.1 に示す．これまで述べてきた各方法論に対応してこのシステムは以下のツールからなる．

- シナリオ構造記述支援システム：3.2 節で述べたシナリオの構造的記述を支援するツールであり，3S Simulator の基幹部分をなす．計算機上のテキストファイルを XML 化する機能が実装されている．
- シナリオ可視化ツール：構造化シナリオである XML ファイルに基づいて，計算機上で構造情報をグラフ図として表現した論理構造図(Logical Structure Grapth)を描画する．その他に，構造化シナリオに含まれるノードとリンクの数を計数する機能や，構造化シナリオを判読しやすい HTML 形式に変換する機能を持つ．シナリオ構造記述支援システムと同時に用いられる．
- Dataset Manager：3.3 節で述べた動的シナリオにおいて，シミュレータと構造化シナリオの間でデータのやり取りを行う．
- Simulator Database：動的シナリオで用いられる既存のシミュレータを集積，検索，再利用可能化するデータベース．
- Logical Structure Analysis Tool：3.4 節で述べたシナリオの論理構造分析機能を実装する．その中に根拠抽出ツール，Logicality Index 計算機を含む．
- What-if Analysis Support Tool：3.5 節で述べた what-if 分析の実行を支援するツール．
- Scenario Database：what-if 分析で用いる既存のシナリオを集積，検索，再利用可能化するデータベース．

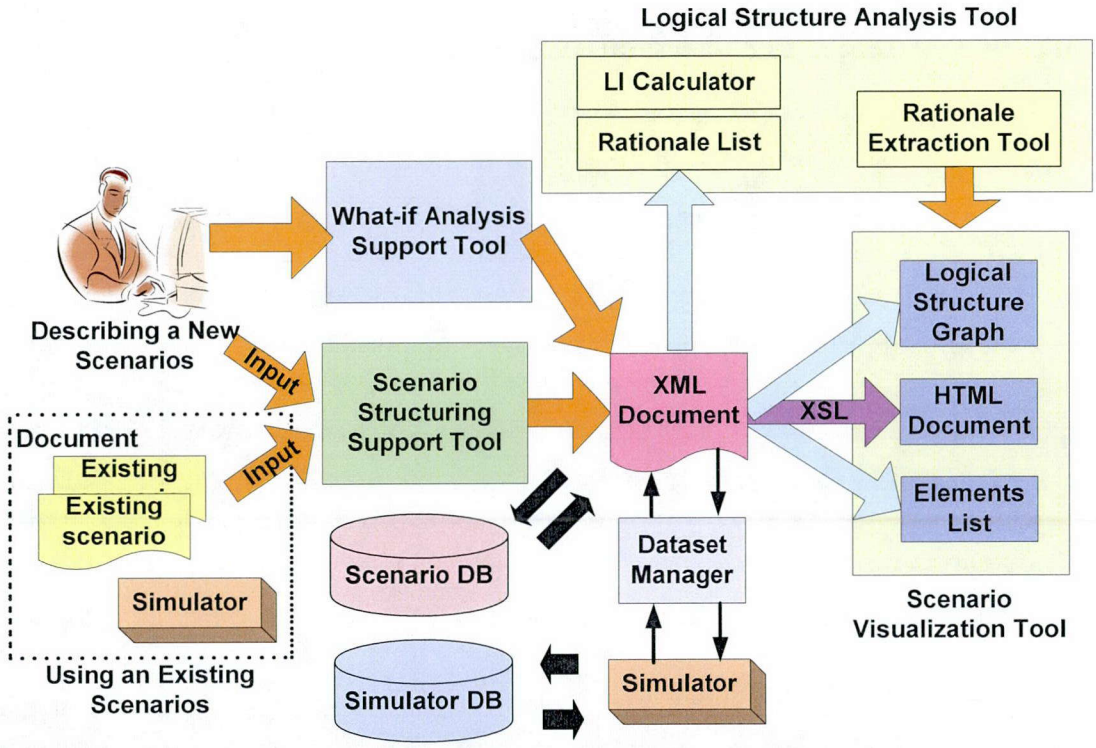

図 3.6.1 3S Simulator のプロトタイプの構成

3.7 第 3 章のまとめと本研究の位置付け

第 3 章において述べてきたように，先行研究において持続可能社会シナリオの理解，分析，作成を統合的に支援する支援環境として，持続可能社会シナリオ(3S)シミュレータが構想され，5 つの研究課題が設定された．それら 5 つの研究課題のうち，先行研究では研究課題 1 に対して 3.2 節で述べた「シナリオの構造的記述法」が，研究課題 2 に対して 3.3 節で述べた「動的シナリオの作成手法」が提案されてきた．研究課題 4 に対しては 3.4 節の「シナリオの分析支援方法論」と 3.5 節の「既存シナリオの what-if 分析による派生シナリオの作成手法」が相当する．また，研究課題 5 に対しては，研究課題 2，4 を解決する際に，既存シナリオ，シミュレータを蓄積，再利用可能化するデータベースが構築されている．しかし，研究課題 3 のシナリオの設計支援に関しては，「既存シナリオの what-if 分析方法論」が既存シナリオに基づく派生シナリオの作成を支援しているが，新しいシナリオを 1 から作成する作業を支援する方法論は提案されていない．すなわち，3S Simulator 上でどのようにシナリオを新規作成するのかが明らかになっておらず，その支援方法論も提案されていない．

したがって第 4 章では，持続可能社会シナリオの設計という概念を定義し，シナリオ設計を計算機支援する方法論を提案する．第 2 章で述べたように，既存のシナリオ作成方法論は人手での実行を想定したものであり，計算機上でのシナリオ作成方法論は提案されていないため，本研究はシナリオ作成研究における新たな地平を開くものであると位置づけることができる．また，持続可能性研究の観点からすると，持続可能社会のビジョン形成に対して有効だと言われているシナリオの作成に対して貢献することができると考えられる．

第4章 持続可能社会シナリオ設計支援方法論

本研究では，第 3 章で述べた 3S Simulator の研究課題のうち，研究課題 3「シナリオの設計支援」の方法論を提案する．そのために本章では，一般設計学の知見を参考にして「シナリオの設計」という概念を定義する．さらに，シナリオの設計を実現するために必要な課題を明確化し，本研究で提案する持続可能社会シナリオ設計支援方法論の全体像について述べる．

4.1 シナリオの設計

4.1.1 設計学

設計学とは，設計に関する知識を一般化し，対象を離れて抽象化して理論として昇華させたものである[57]．その中で設計は，「要求を実現する人工物に関する情報(属性・状態・挙動・機能)を決定していく過程」と定義される[57]．設計の具体例として製品設計を取り上げると，設計の結果として導出する設計解は，設計対象である製品の詳細な情報を記した設計図面(詳細図面)，あるいは詳細図面に相当する CAD モデルなどである．詳細図面を作画したり，詳細な CAD モデルを構築したりする作業は製品設計の一部であり，市場動向などの調査，製品企画や，強度計算や形状の決定などを行う詳細図面作成の前段階にこそ，設計の本質的作業が含まれている．

設計学において，一般に設計を実行するためには，以下の 2 種類の知識が必要となると言われている[57]．

1. 設計対象に関する知識：設計対象自体に対する知識に加えて，設計対象をどうモデルとして表現し，そのモデルを生成し，変更し，利用するかに関する知識がある．
2. 設計過程に関する知識：設計をどのように進めていくかについての知識に加えて，設計を進める際の意思決定を行う際に，判断の基準となる知識も含む．

4.1.2 シナリオの設計

本研究では，3.1 節で挙げた 3S Simulator の実現に向けた研究課題のうち，課題 3 に相当するシナリオの設計支援方法論を提案する．すなわち本研究は，3S Simulator 上におけるシナリオ設計支援方法論の提案をその目的とする．木下[15]はシナリオの設計を「持続可能社会シナリオを作成するために必要な一連の行為」と定義しており，本研究ではシナリオの設計にこの定義を採用する．

設計対象である持続可能社会シナリオがどのようなものであるかは 2.1.2 項で述べたとおりであり，文章による定性的な表現と数理モデルを用いたシミュレーションによる定量的表現の両者によって表現される．例えば[8]や[10]のように，通常入手可能なシナリオは，文章とシミュレーションの条件と結果の一部，あるいは全部を表，グラフ，文章の一部などとして含む文書の形態をとっている．これを本研究では「文書化されたシナリオ(Documented scenario)」と呼ぶ．製品設計のアナロジーでシナリオの設計を考えるとき，文書化されたシナリオは製品設計における詳細図面に相当する．4.1.1 項で述べた，詳細図面の製図の前段階が製品設計の本質であるという観点からすると，文書化されたシナリオを記述する前にシナリオに記述されるべき内容を構想する段階が，シナリオの作成において本質的に重要となる．

この解釈に基づき本研究では，武田らが提案した認知的設計プロセスモデル[58]などを参考にしつつ，シナリオの設計を図 4.1.1 のようにモデル化する．このモデルの中では，シナ

リオの設計において行われる設計操作を以下の 3 つに分類する.

- シナリオの構想：シナリオを作るのに必要なアイデアを生み出す．ブレーンストーミングや思考によって新たなアイデアを発想するだけでなく，データの調査や分析，シミュレータを用いた予備的な感度分析などを含む.
- シナリオの記述：構想の結果を整理し，取捨選択し，シナリオに記述する.
- シナリオの評価：構想され，記述されたシナリオを評価し，次に構想，記述すべき内容にフィードバックをかける.

すなわち，本研究ではシナリオの設計を，「このようなシナリオを作りたい」，「この対象の将来を描きたい」といった初期の設計課題から，上記の「構想」，「記述」，「評価」のシナリオ設計サイクルを繰り返しながら段階的に，設計解である持続可能社会シナリオを導出する過程と考える.

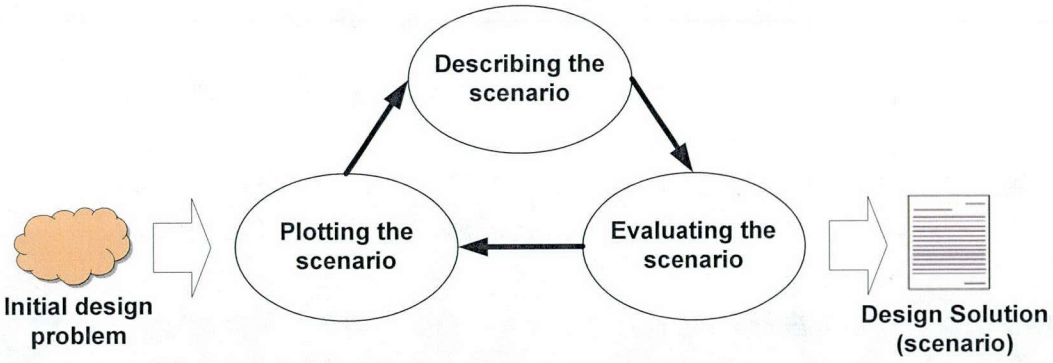

図 **4.1.1** シナリオ設計サイクル

4.2 シナリオの設計支援方法論

4.2.1　シナリオ設計支援の実現に向けた課題

4.1.1 項で挙げた設計学の知見に基づくと，4.1.2 項で述べたシナリオの設計を実行し，シナリオ設計の計算機支援を実現するためには，(1)設計対象であるシナリオに関する知識，(2)シナリオの設計過程についての知識の 2 種類の知識を定義する必要がある．この知見を参照すると，3S Simulator 上におけるシナリオの設計支援方法論を提案するうえでは，以下の 3 つの課題がある．

1. 設計対象であるシナリオを計算可能な形で表現するモデルがない．シナリオの構造的記述法[16]は，シナリオの文章とシミュレーションを計算可能な形でモデル化しているが，「シナリオの構想」の過程で生み出される情報は十分に表現しない．
2. 3S Simulator において，シナリオの具体的な設計プロセスが定義されておらず，いかにしてシナリオを設計するのか，その具体的な設計操作が明らかになっていない．
3. シナリオの設計プロセスが明らかになっていないため，シナリオ設計をどのように支援すべきであるかが不明確である．また，既存のシナリオ作成技法の多くはシナリオの構想を支援するものである(例：Morphological Analysis[48])．対して，シナリオの記述，評価を支援する技法は提案されていない．

4.2.2　アプローチ

本研究では，4.2.1 項で挙げたシナリオ設計支援の課題を以下のアプローチで解決することにより，シナリオの設計支援方法論を実現する．

課題 1 に対しては，「構想」，「記述」，「評価」のシナリオ設計サイクルに基づく，計算可能なシナリオモデルを構築する．このモデルはシナリオの構造的記述法を拡張する形で定義する．シナリオモデル内では構造的記述法を用いて「シナリオの記述」によって生み出させる情報を表現し，シナリオの文章を計算可能とする．本モデルに対して「シナリオの構想」の過程において生み出される情報を表現するサブモデルを新たに定義し，構造的記述法を用いて表現された構造化シナリオとそのサブモデルを関連づけることで，設計サイクルにおける「構想」と「記述」の間の関係をシナリオモデル上で表現することを可能とする．また，構造的記述法を用いることにより先行研究で提案されたシナリオの理解支援，分析支援方法論をシナリオの設計において用いることが可能となる．特にシナリオの論理構造分析手法(3.4 節参照)を用いることにより，記述したシナリオを論理性の観点から評価することが可能となる．

課題 2 に対しては，図 4.1.1 の設計サイクルを具体化，詳細化した設計プロセスを提案し，その中の「構想」，「記述」，「評価」を支援する方法論を提案する．本研究では，シナリオの設計を，初期の設計課題から，上記の「構想」，「記述」，「評価」のシナリオ設計サイクルを繰り返しながら段階的に，設計解である持続可能社会シナリオを導出する過程と考える．

一般的な人工物設計の過程[59][60]においては，おおむね，設計課題から設計対象物への要求項目を明確化し，設計対象物の属性を，要求項目を充足できるように全体から部分，概要から詳細の方向に決定していくとしている．本研究で提案するシナリオ設計プロセスもこの考え方に則り，初期の設計課題からシナリオへの要求を明確化し，設計対象物であるシナリオを，要求を充足できるように，全体から部分，概要から詳細の方向に決定していく過程として定義する．

シナリオ設計プロセス内の「シナリオの構想」では，記述対象世界でどのような出来事が起き，互いに関連しあい，対象世界の状態が時間的，因果的に展開していくかを描くことが本質的に重要となる．そこで本研究では課題 3 に対して，対象世界上の出来事や状態変化の展開方法として，フォアキャスティング型とバックキャスティング型の 2 つのやり方を想定する．そして，それらの 2 つの形式に従った将来の構想を支援するシナリオ作成技法を設計プロセスに組み込んでシナリオ設計プロセスを構成する詳細な設計操作を定義する．シナリオの記述に対しては，構想の過程で生み出される情報を表現するサブモデルと構造化シナリオを含むシナリオモデルを用いて，フォアキャスティング型，バックキャスティング型で構想された情報に基づいてシナリオの記述を支援する技法を新たに提案し，設計プロセスに組み込む．

すなわち，本研究で提案するシナリオの設計支援方法論では，シナリオの構想の過程で生み出される情報まで含めて計算が可能となるようなシナリオのモデルを提案する．さらに，シナリオの設計プロセスを提案したモデルに対する一連の設計操作として具体化し，設計プロセス中の「構想」「記述」「評価」に相当する設計操作それぞれに対して計算機支援を実現する．以降 4.3 節においてシナリオのモデルについて，4.4 節においてシナリオ設計プロセスと支援方法論の全体像について述べる．

4.3 シナリオのモデル

4.3.1 モデルの全体像

アプローチ 1 に従い，本研究では設計対象であるシナリオを表現するためのモデルとして，図 4.3.1 に示すようなシナリオのモデルを提案する．このモデルは以下の要素から構成する．

(a) 構造化シナリオ：構造的記述法を用いて表現されたシナリオの文章とシミュレーション．

(b) シミュレータ：シナリオの作成に用いられる，数理モデルに基づくシミュレータ．動的シナリオ[17]として，構造化シナリオの一部として取り扱う．

(c) 文書化されたシナリオ：一般に入手可能な，文章とシミュレーションの条件と結果の一部，あるいは全部を表，グラフ，文章の一部などとして含む文書形式のシナリオ．

(d) シナリオの構想モデル：シナリオの設計プロセスにおける「シナリオの構想」作業の過程において生み出される様々な情報を表すモデル．

本シナリオモデルにおいては，シナリオの設計サイクルにおいて，シナリオの構想の後にシナリオの記述を行う，という流れを表現するために，シナリオの構想モデルの各要素と，構造化シナリオ内の各要素を関係づける．

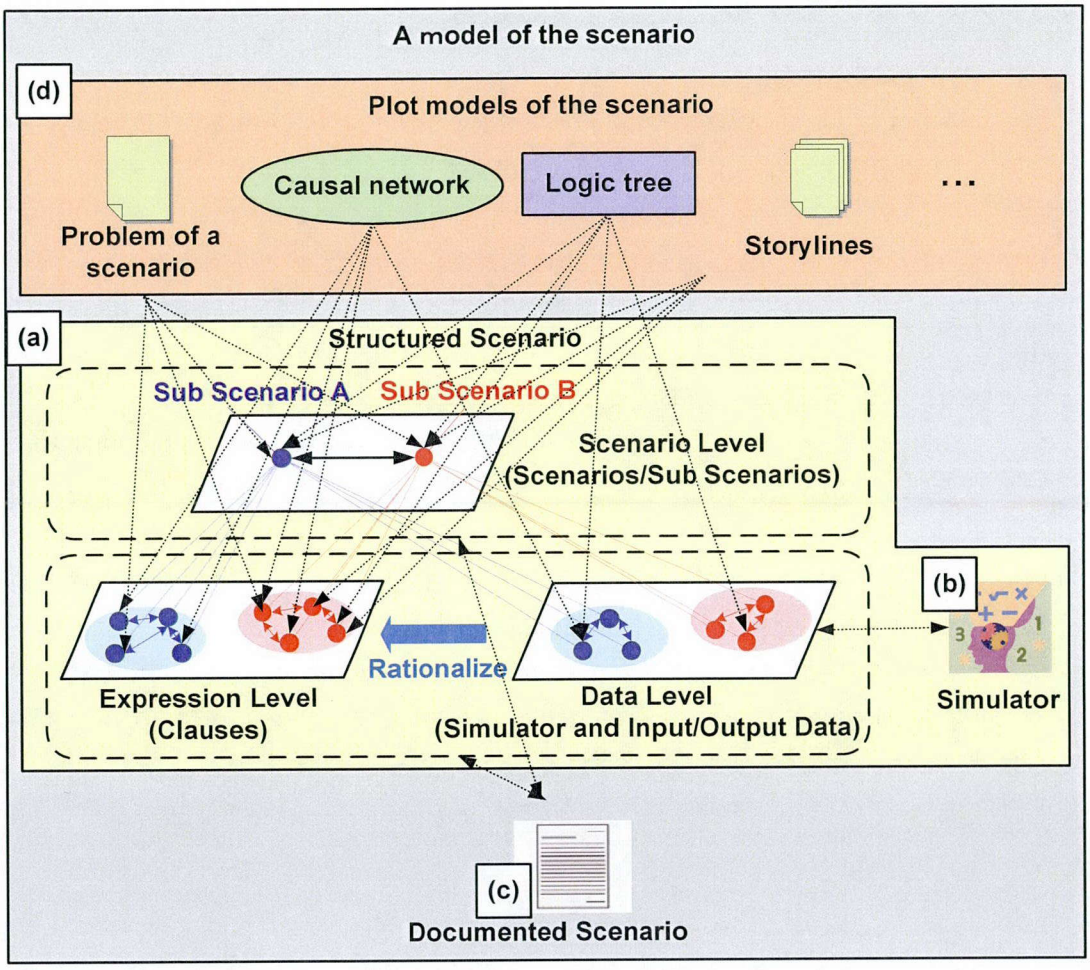

図 **4.3.1** シナリオのモデル

4.3.2 構造的記述法の拡張

前項で述べたように，本研究において提案するシナリオモデルにおいては，「シナリオの構想」の結果に基づいて行う「シナリオの記述」の操作対象として，構造的記述法を用いて表現された文章の固まりとシミュレーションからなる構造化シナリオを採用する．本研究では，シナリオ設計における要件に基づいて，シナリオの構造的記述法を改良する．

2.1.1，2.1.2 項で述べた持続可能社会シナリオの定義と特徴より，シナリオは特定の将来像とそこに至る道筋を描いたサブシナリオを複数含む．すなわち，あるサブシナリオの中にはその記述対象世界内において起きる出来事や記述対象の状態の時間的推移が含まれる．このサブシナリオ内に含まれる時間的推移は，少なくとも以下の 3 つの要素によって表現することが可能である．すなわち，

- 現状(current state)：シナリオの記述対象世界の記述開始年付近の状態
- 移行過程(tranisiton path)：シナリオの記述対象の現在(記述開始年付近)から将来(記述終了年付近)に向けた変化の過程
- 将来状態(future state)：シナリオの記述対象世界の記述終了年付近の状態

である．ここで，2.2.1 項で述べたように，シナリオ作成の 2 つの形式であるフォアキャスティングとバックキャスティング型の定義を参照すると，将来状態は以下の 2 つに区別する必要があることが分かる．

- 終了状態(end state)：現状から移行過程を経て到達した帰結としての記述終了年付近の状態
- 目標とする将来像(targeted future vision)：バックキャスティング型シナリオ作成で最初に構想される，シナリオにおいて達成したい記述終了年付近の状態

すなわち，サブシナリオ内に含まれる記述対象世界上で起きる出来事や記述対象の状態に関する文章の固まりとシミュレーションは現状，移行過程，終了状態，および目標とする将来像の 4 つのどれかに分類される．

他方，先行研究[15](3.2.2 項参照)においては，サブシナリオの内容を以下の 6 つの要素で分類し，構造的記述法の Scenario Level におけるサブシナリオ内の文章の固まり，またはシミュレーション部分を表す“scenario_component”ノードの分類を用いて表現している．すなわち，

- problem：サブシナリオの問題設定
- hypothesis：サブシナリオの前提または仮定
- simulation：サブシナリオの記述に利用されるシミュレーション
- result：シミュレーションの結果
- discussion：シミュレーション結果を含む，サブシナリオで導かれたある結果に関する考察
- conclusion：サブシナリオの結論

この分類において，シナリオの記述対象世界内において起きる出来事や記述対象の状態に

関する文章の固まりとシミュレーションは，hypothesis，simulation，result に分類される．これらの要素と本項で定義した時系列の分類との関係を考えると，上述の現状，移行過程，終了状態，目標とする将来像のそれぞれに仮説，シミュレーション，シミュレーション結果が含まれうる．

ここまでの議論に基づいたサブシナリオの構造は図 4.3.2 のようになる．

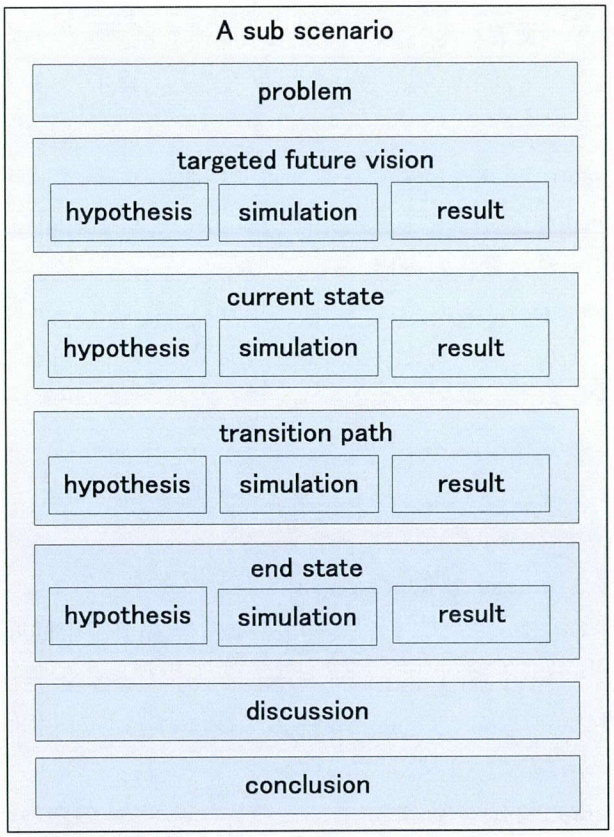

図 4.3.2 時系列分類を含めたサブシナリオの構造

図 4.3.2 のサブシナリオ構造を構造的記述法の Scenario Level で表現するために，Scenario Level を拡張する．すなわち，Scenario Level の“scenario_component”ノードの分類を以下のように 10 種類に拡張し，時系列を表す“scenario_component”と，仮説とシミュレーション，シミュレーション結果を表す“scenario_component”との間の包含関係を表現するために，Scenario Level のリンクを表 4.3.1 のように再定義する．

- problem：サブシナリオの問題設定
- hypothesis：サブシナリオの前提または仮定
- simulation：サブシナリオの記述に利用されるシミュレーション
- result：シミュレーションの結果

- discussion：シミュレーション結果を含む，サブシナリオで導かれたある結果に関する考察
- conclusion：サブシナリオの結論
- curent state：サブシナリオの記述対象世界の記述開始年付近の状態に関する記述
- transition path：サブシナリオの記述対象の現在(記述開始年付近)から将来(記述終了年付近)に向けた変化の過程に関する記述
- endstate：現状から移行過程を経て到達した帰結としての記述終了年付近の状態に関する記述
- targeted future vision：バックキャスティング型シナリオ作成で最初に構想される，シナリオにおいて達成したい記述終了年付近の状態に関する記述

表 4.3.1 Scenario Level のリンクの再定義

タイプ	定義
consist_of(*A*,*B*)	シナリオとサブシナリオの間の関係．“scenario”ノード *A* が“scenario”ノード *B* を構成要素として含む．
part_of(*A*,*B*)	シナリオ，サブシナリオとその構成要素の関係，あるいはそれらの構成要素間の関係．“scenario”ノードあるいは current state, transition path, end state に分類される“scenario_component”ノード *A* が“scenario_component”ノード *B* をその構成要素として含む．
compare(*A*,*B*)	ノード *A* とノード *B* が対比，あるいは比較される．
refer(*A*,*B*)	ノード *A* がノード *B* を参照している．

すなわち，拡張した Scenario Level を用いて，本研究ではサブシナリオの構造を図 4.3.3 のように表現する．

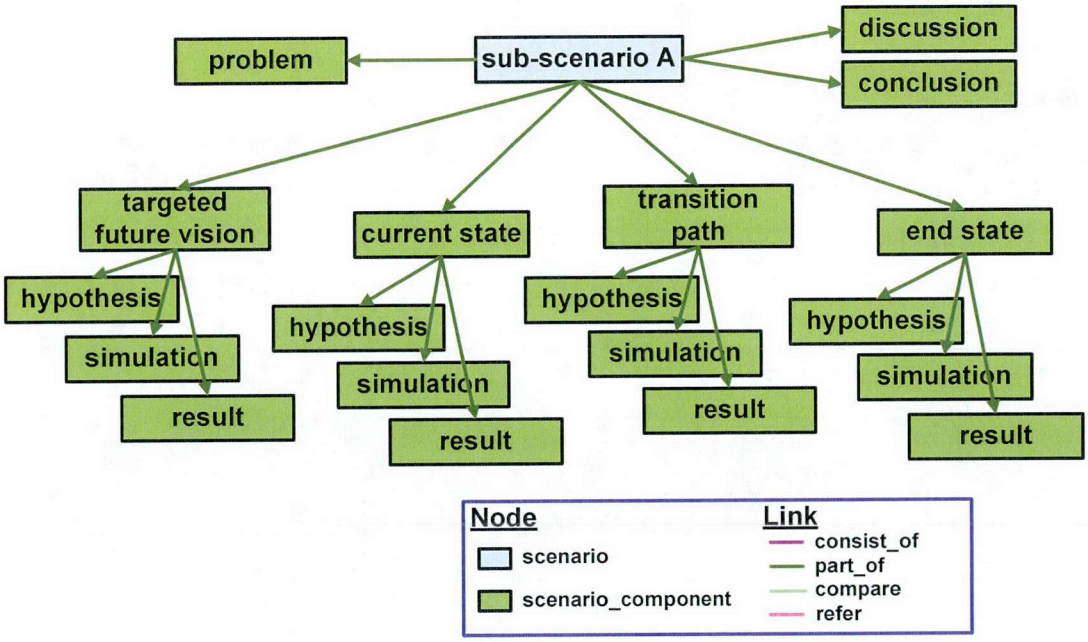

図 4.3.3 拡張された構造的記述法における Scenario Level の構造

4.3.3　シナリオの構想モデル

本研究で提案するシナリオモデル内の構想モデルは，設計プロセス内の「シナリオの構想」の結果として生み出される情報を表現するモデルである．構想モデルは，シナリオ設計プロセスやその中に組み込まれたシナリオ作成技法における作業や思考によって生み出される情報を表現するのに最適なサブモデル(例：因果ネットワーク，ロジックツリーなど)を含むものと考える．

4.4 節で述べる，シナリオの設計プロセスにおける構想によって設計者が生み出す情報を表現するために，シナリオの構想モデルには以下の 2 つのサブモデルを含むとする．その他，フォアキャスティング型，バックキャスティング型シナリオ設計プロセス固有のサブモデルについては，第 5 章，第 6 章にて述べる．

シナリオの問題

シナリオの問題はシナリオの作成意義，作成期間，対象とする地域，シナリオに登場させるステークホルダーなど，シナリオを設計する上で明確にしておくべき項目を叙述的に書いた構想モデルのサブモデルとして定義する．既存シナリオの調査を行い，シナリオの問題の項目を表 4.3.2 のように定義する．定義した項目のうち，目標，目標設定の根拠，前提は，バックキャスティング型でシナリオを設計する際にのみ設定する項目として定義する．

表 4.3.2 シナリオの問題の項目

	項目		定義
FC，BCで共通の項目	タイトル(Title)		シナリオのタイトル
	目的(Objective)		シナリオの設計目的.
	背景(Background)		シナリオ設計の動機，シナリオによって解決されるべき課題，あるいはシナリオの背景.
	記述期間(Time Horizon)	記述開始年(Start Year)	シナリオの記述開始年
		記述終了年(End Year)	シナリオの記述終了年
	対象地域(Region)		シナリオの記述対象地域
	メインアクター(Main actor)		シナリオ内における主要なステークホルダー
	アクター(Actors)		シナリオ内におけるステークホルダーのうち，メインアクターを除くもの.
BC固有の項目	目標(Target)		設計者がシナリオ内で想定する将来において達成したいと考える条件.
	目標設定の根拠(Rattionale for setting the target)		なぜ目標の値がそのように設定されたのかの理由，根拠.
	前提(Premise)		シナリオで将来像や移行過程を想定する際の前提となる条件.

ストーリーライン

ストーリーラインは，シナリオを構成する各サブシナリオの概要を，文章を用いて叙述的に表現したものであると定義する．シナリオ設計プロセスにおいてストーリーラインを作成することの意義は，設計者にとっては各サブシナリオの詳細を記述する前にシナリオの概要を明確に記述することで，各サブシナリオの詳細にどんな情報を含めるべきかを明確化することができるということであり，シナリオの読者にとっては各サブシナリオの内容の把握が容易になることである．

4.4 シナリオ設計プロセスとその支援方法論

4.4.1 シナリオ設計プロセス

本研究では，4.2.2 項で述べたアプローチに従い，以下の 5 つの段階(Phase)からなるシナリオ設計プロセスを定義し，初期課題の要求を明確化し，要求を充足するシナリオを全体から部分，概要から詳細方向に設計していくものとする(図 4.4.1 参照).

- Phase 0 シナリオの作成形式の決定：シナリオの初期課題と 2.2 節で述べた両形式の特徴を参考にして，その初期課題を充足するためにはフォアキャスティング，バックキャスティング型のどちらで設計するべきかを決定する.
- Phase 1 シナリオの問題設定：シナリオの作成目的，シナリオ全体がどのようなものなのかを決定する.
- Phase 2 ストーリーラインの記述：シナリオで描く将来の概要を構想し，シナリオを構成するサブシナリオを決定，その概要をストーリーラインとして記述する.
- Phase 3 シナリオの記述：各サブシナリオの詳細を構想し，記述する．記述してきたサブシナリオを結論付け，シナリオ全体を完成させる.
- Phase 4 シナリオの文書化：最後に，展開してきた内容を整理して，外部に発表するための文書化されたシナリオを作成する.

それぞれの段階の中で「構想」,「記述」,「評価」の 3 つの設計操作を行うことでシナリオの内容を徐々に詳細化，展開していく．Phase 0 でシナリオの作成形式を決定し，Phase 1 で表 4.3.2 に定義した項目を設定することによって，シナリオ全体をどのようなものにするべきか，シナリオにおいて考える記述対象の将来がどのようなものであるべきかを明らかにする．シナリオの設計における主要な作業は，シナリオの記述対象世界においてどのような出来事が起き，それらがどのように関連しあって将来の状態に至るのかを構想，記述することであるが，本設計プロセスではこの作業を Phase 2，3 を通じて概要から詳細方向に段階的に実行していく．設計プロセスの最後である Phase 4 において，展開してきた内容を整理して，外部に発表するための文書化されたシナリオを作成する.

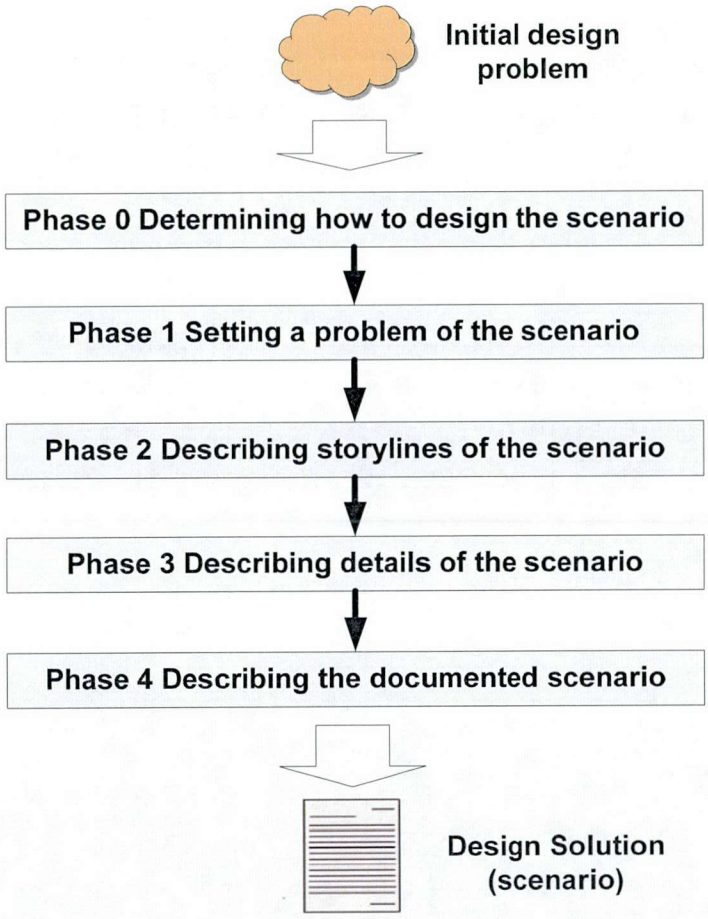

図 **4.4.1** シナリオの設計プロセスの全体像

4.4.2　シナリオ設計支援方法論

本項では，シナリオ設計プロセスの各段階でどのような支援が必要となるかを考察し，それを本研究でどう支援するかについて述べる．

Phase 0 においては，設計者がフォアキャスティング，バックキャスティングのどちらの設計形式を用いるかを決定しやすくする必要があると考えられる．これに対して本研究では，シナリオの 2.2.1 項のように，フォアキャスティング，バックキャスティングの定義と，適用すべき問題の性質を明らかにする．

Phase 1 に対しては，4.3.3 項で述べたように，既存シナリオの調査に基づいてシナリオの設計において定めるべき項目を定義することによって，シナリオ設計者がどのような項目について考えるべきであるかを定めることによって支援を行う．

Phase 2 においては，Phase 1 で定めたシナリオの全体像を踏まえたうえで，2.1.2 項で述べたように将来の不確定性に対応するため，互いに相異なった将来を構想する必要がある．すなわち Phase 3 においては，互いに相異なる将来を構想しやすくするような支援が必要と

なると考えられる．

Phase 3 においては，Phase 2 において決定した概要を逸脱しないようにシナリオの詳細を構想，記述する必要がある．シナリオの詳細は必然的に情報量が多く複雑となるため，シナリオの記述根拠となる構想の内容や，将来の概要を適宜参照しながら記述できるようにする支援が必要となると考えられる．

Phase 4 に対しては，細部まで記述され，複雑かつ多量の情報からなるシナリオの内容を整理しやすくする支援が必要となる．

本研究では，シナリオ設計の中心的な作業となる将来の段階的な構想と記述を行う Phase 2，3 に対して，フォアキャスティングとバックキャスティングの 2 つの考え方にしたがって支援するシナリオ作成技法を提案し，それらに基づいてシナリオ設計プロセスの詳細を定義する．これら設計プロセスの詳細については，第 5 章と第 6 章において述べる．

4.5 第 4 章のまとめ

第 4 章では，本研究で対象とする「シナリオの設計」の概念を定義し，シナリオの設計支援方法論を実現するための課題を整理した．それらの課題の解決に向けた，本研究のアプローチを提示し，本研究で提案するシナリオモデルとシナリオ設計プロセスの概要について述べた．以降では，シナリオ設計プロセスに対してフォアキャスティング型，バックキャスティング型の支援を行うシナリオ作成技法を組み込んだプロセスと，そのプロセスにおいてシナリオモデルを以下に用いるのかについて述べる．更に，3S Simulator のプロトタイプを開発し，支援方法論を計算機上に実装する．最後に，実行例において方法論の有効性を検証する．

第5章 フォアキャスティング型シナリオ設計支援方法論

第 5 章では，シナリオの設計支援手法のうち，現在から将来を探索する作成形式である，フォアキャスティング型でシナリオの設計を支援する方法論を提案する．本方法論では，第 4 章で提案したシナリオ設計プロセスの中の「シナリオの構想」，「シナリオの記述」に相当する設計操作を，シナリオの記述対象世界を因果ネットワークでモデル化した「対象世界モデル」を用いて支援するシナリオ作成技法を提案する．更に，提案したシナリオ作成技法を組み込んで具体的なフォアキャスティング型シナリオ設計プロセスを定義する．提案した支援方法論を実装したシナリオの設計支援システムを開発し，それを用いた実際の設計プロセスについても述べる．

5.1 アプローチ

本方法論では，4.4.2 項で述べたように，図 4.4.1 に示すシナリオ設計プロセスの特に Phase 2，3 をフォアキャスティング型で支援するシナリオ作成技法を提案し，設計プロセスに組み込み，フォアキャスティング型シナリオ設計プロセスを定義する．本節では本方法論のアプローチ，すなわちフォアキャスティングの特性から，どのようなシナリオ作成技法を提案し，それに基づいてフォアキャスティング型シナリオ設計プロセスをどのようなものとして定義するかについて論じる．

1. 因果ネットワークによる記述対象世界のモデル化

フォアキャスティングはその定義より，現在から将来を探索するものである．すなわち，フォアキャスティングは現在を始点として演繹的に将来を展開するものであり，始点となる現在は調査などによって精緻に把握することが可能である．そこで本手法では，記述対象世界の現在から将来への変化を表現する方法として，因果ネットワークを用いる．本手法では因果ネットワークを用いて，シナリオの記述対象世界(例えば[9]であれば，世界のエネルギー経済システム)の現在の構造を，その構成要素とその間の因果関係(ここでは，関係の接続元の構成要素の量が増加，あるいは状態が強化されたときに接続先の要素の量が増加/減少，あるいは要素の状態が強化/弱化されるのかという関係のことをさす)で表現する．この記述対象世界のモデルを本手法では「対象世界モデル」と呼び，フォアキャスティング型シナリオ設計プロセスにおいては対象世界モデルを用いて現在から将来の探索の支援を行う．

2. 2 つの粒度の因果ネットワークを用いた将来探索支援

更に本手法では，「全体モデル」と「部分モデル」という粒度の異なる 2 つの対象世界モデルを構想モデルのサブモデルとして定義する．この 2 つのモデルを用いることで，4.4.1 項のシナリオ設計プロセスにおける概要から詳細へという設計の流れに従った段階的な将来探索を支援する．全体モデルを用いて対象世界を大まかに把握し，全体モデルの中から不確定で対象世界の将来を大きく決定づける構成要素(これをキードライバーと定義する)の変化を考える Morphological Analysis[48]を行うことで対象世界の大きな変化を探索する．その後，全体モデルの要素の粒度を細かくして部分モデルを構築し，部分モデル上の因果関係に基づいて変化を展開することで，対象世界の変化を詳細に分析する．

3. 因果ネットワークを用いたシナリオ記述支援

本手法では，シナリオモデルのサブモデルである対象世界モデルと構造化シナリオの併用によってシナリオの記述を支援する技法を提案し，その技法に従って「Phase 2 ストーリーラインの記述」と「Phase 3 シナリオの記述」の具体的手順を定める．本手法では，全体モデル上での Morphological Analysis の結果に基づいて，シナリオに含むサブシナリオを決定し，その結果を構造化シナリオの Scenario Level の構造として記述する．更に，サブシナリオの詳細を記述する際に構想の内容を明示的に参照できるようにするために，部分モデ

ル上で分析した対象世界の将来の変化をガイドラインとして構造化シナリオの Expression Level を展開する技法を提案することにより，各サブシナリオの記述を支援する．

5.2 フォアキャスティング型設計支援のためのシナリオのモデル化

5.2.1 モデルの全体像

本研究では，フォアキャスティング型のシナリオ設計支援のために，図 4.3.1 のモデルの，特にシナリオの構想モデルに以下の(a)と(b)の 2 つの要素を追加することで，図 5.2.1 のようなモデルを設定し，フォアキャスティング型シナリオ設計プロセスにおける設計操作の対象とする．

(a) 対象世界の全体モデル：シナリオの記述対象世界の全体を因果ネットワークで表現したもの．

(b) 対象世界の部分モデル：(b)の全体モデルを，サブシナリオに合わせて詳細化したもの．因果ネットワークで表現する．

フォアキャスティング型シナリオ内の構想モデルにおいて，問題，全体モデルはサブシナリオ間において共通であるとする．それ以外の構想モデルのサブモデル，「部分モデル」，「サブシナリオのストーリーライン」は構造化シナリオ内におけるサブシナリオ(=サブシナリオに相当する“scenario”ノードとそれに付随する“scenario_component”ノード及び，各コンポーネントに含まれる Expression Level，Data Level のノードとリンク)と対応するものとする．

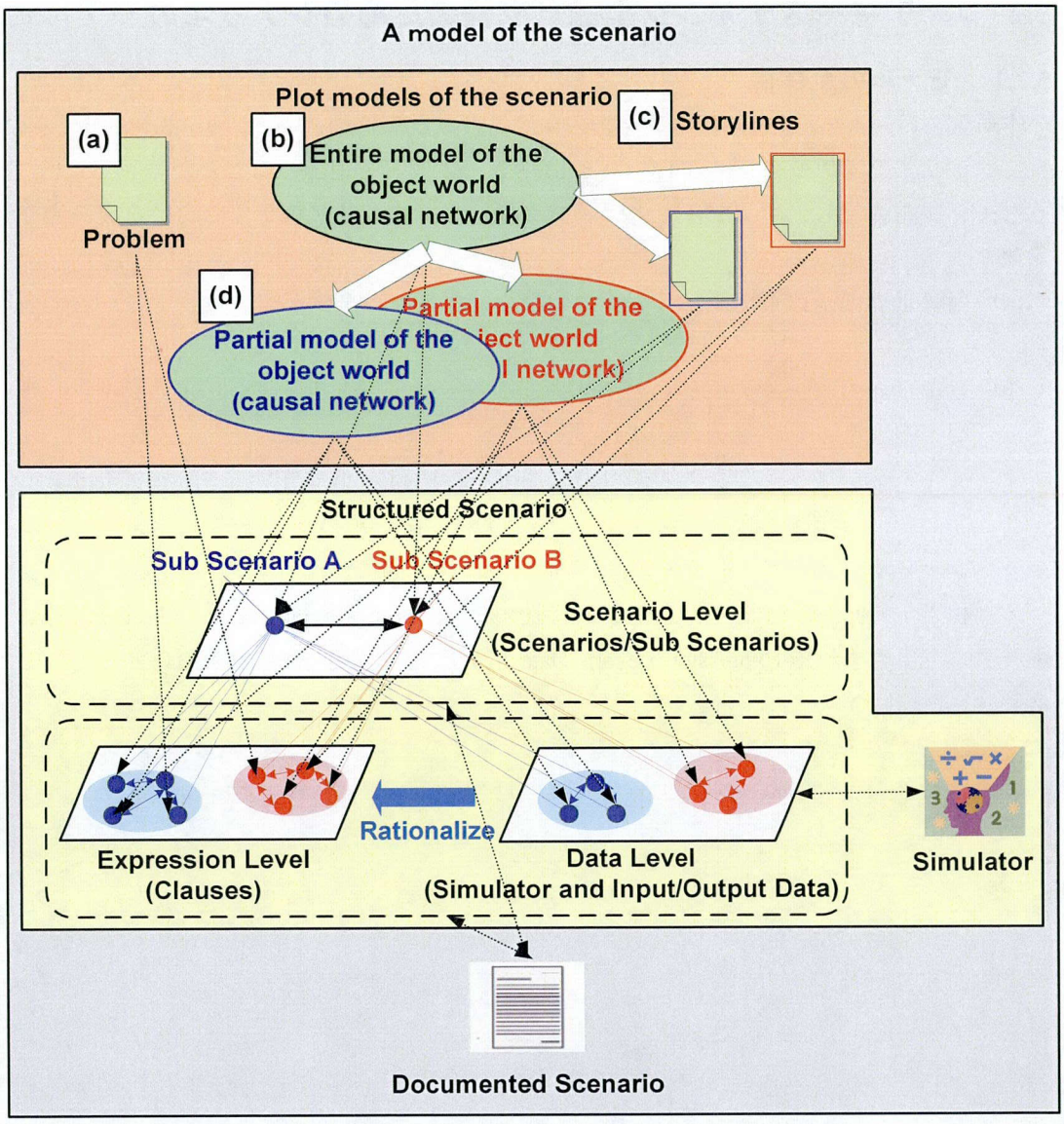

図 5.2.1 フォアキャスティング型シナリオのモデル

5.2.2　対象世界モデル

5.1 節で述べたように，本手法では，因果ネットワークで表現したシナリオの記述対象世界のモデルを，「対象世界モデル」と定義する．更に，本手法では対象世界を 2 つの粒度でモデル化し，粒度の大きいものを「全体モデル」，粒度の小さいものを「部分モデル」と呼ぶ．ここで対象世界モデルの粒度とは，要因の詳細度，すなわちモデルが記述対象世界をどれだけ細かく表現しているかの度合であると考える．例えば，2 つの因果ネットワークにおいて，化石燃料の価格という要素を「化石燃料の価格」ととらえているものを粒度の大きな因果ネットワーク(全体モデル)，「石油価格」，「石炭価格」，「天然ガス価格」

ととらえる因果ネットワークを粒度が小さい因果ネットワーク(部分モデル)とする．ここで因果ネットワークの粒度は相対的なものと考える．

対象世界モデルを構成する因果ネットワークのノードとリンクの種類は，全体モデルと部分モデルで共通であるとし，表 5.2.1 のように定義する．

表 5.2.1 因果ネットワークのノードとリンクの分類

タイプ		定義
Node	element	シナリオの記述対象世界の構成要素である．すなわち，記述対象世界の状態を表現するためのパラメータである．
Link	positive(*A*,*B*)	ノード *A* の値が増加，あるいは強化されたときに，接続先のノード *B* の状態も増加，強化される．
	negative(*A*,*B*)	ノード *A* の値が増加，あるいは強化されたときに，接続先のノード *B* の状態は減少，あるいは弱体化される．
	related(*A*,*B*)	ノード *A* とノード *B* は関係しているが，その関係の極性を決定することはできない．

更に，シナリオ設計プロセスにおける各設計操作を支援するために，本手法では対象世界モデルのノードに表 5.2.2 の属性，リンクには表 5.2.3 の属性を定義する．ノードを分類することによって設計者の発想を促す，あるいは設計者の思考を整理することを目的として定義する pest，category 属性は全体モデル，部分モデルのノードが共通で保持する情報であるとする．対して targeted, uncertainty, impact, key 属性は，全体モデル上での Morphological Analysis を実行，あるいは支援するために定義し，全体モデルのノードのみが保持する属性とする．リンクも同様で，分類を表す type 属性は全体モデル，部分モデル共通だが，weight 属性については全体モデル内のリンクのみが保持するとする．

5.3 節において後述するが，部分モデルは，全体モデルを詳細化することによって構築する．このモデル間の詳細化の関係を明示するために，全体モデル内のノード *A* が部分モデル内のノード *B* に詳細化されていることを表す“detailed(*A*,*B*)”リンクをシナリオモデル内に定義する．

表 5.2.2 対象世界モデルのノードの属性

属性名		定義
全体，部分モデルで共通の属性	type	ノードの分類．表 5.2.1 に示すとおり，対象世界モデル内の全てのノードは“element”の値を持つ．
	pest	PEST(Politically, Economic, Social, Technological)分析に用いる属性．以下の 4 つの値を持つ可能性がある． political: ノードが政治に関係する要因である． economic: ノードは経済に関係する要因である． social: ノードは社会に関係する要因である． technological: ノードは技術に関係する要因である．
	category	全体モデル内のノードを分類するためのカテゴリー，分類の項目は設計者が任意に設定する．
全体モデル内のノードの属性	targeted	そのノードが目的ノードであるか否かを表す．“yes”か“no”のどちらかの値を取る．
	uncertainty	全体モデル内のノード間での相対的な不確定性を表す．0 から 5 の整数値を取る．0 の場合，シナリオ内においてそのノードの状態は確定しているとする．5 の場合，そのノードの状態は確定できないとする．
	impact	そのノードの，目的ノードに対する影響度の大きさを表す．
	key	ノードがキードライバーであるかどうかを表す．“yes” か“no”のどちらかの値を取る．

表 5.2.3 対象世界モデルのリンクの属性

属性名		定義
全体モデル，部分モデルで共通の属性	type	リンクの分類．表 5.2.1 に示す 3 つの値をとる．
全体モデル内のリンクの属性	weight	同一の接続先を持つリンクの間で，あるリンクが伝達するノードの impact 属性値を伝達するかを表す重み．1 から 5 の整数値をとる．

5.2.3　シナリオの構想モデルの要素と構造化シナリオの関係づけ

本研究で提案するシナリオ設計プロセスの，特に Phase 4 シナリオの記述においては，構想モデルを用いて構想した結果を取捨選択して，シナリオの詳細を構造化シナリオに展開，記述していく．この構想から記述の流れをシナリオモデル上で表現し，シナリオ内の記述の根拠を追跡することを可能とするために，本研究ではシナリオモデル内に含まれる構想の結果とシナリオ内の個々の記述(Expression Level のノード)を関係づけるリンク“deploy(*A,B*)”を定義する．フォアキャスティング型シナリオ設計方法論においては特に，部分モデル内のノードから，対応するサブシナリオを構成する個々の記述に相当する Expression Level を導出するという関係を表現する．

表 5.2.4 シナリオの構想モデルと Expression Level のノードを関係付けるリンク

Type	*Definition*
Deploy(*A*,*B*)	Expression Level のノード *B* は，構想モデル内の要素 *A* から導出される．

5.2.4　フォアキャスティングシナリオのサブシナリオ構造

本研究では，4.3.2 項で拡張した構造的記述法の Scenario Level 上で，フォアキャスティングシナリオで描画する記述対象世界の時間変化(現在から将来)を，“current state”，“transition path”，“end state”に分類する．すなわち，フォアキャスティングシナリオのサブシナリオ内の Expression Level のノードは，サブシナリオ内における意味合いに応じて図 5.2.2 のように“scenario_component”ノードに分類するものとする．

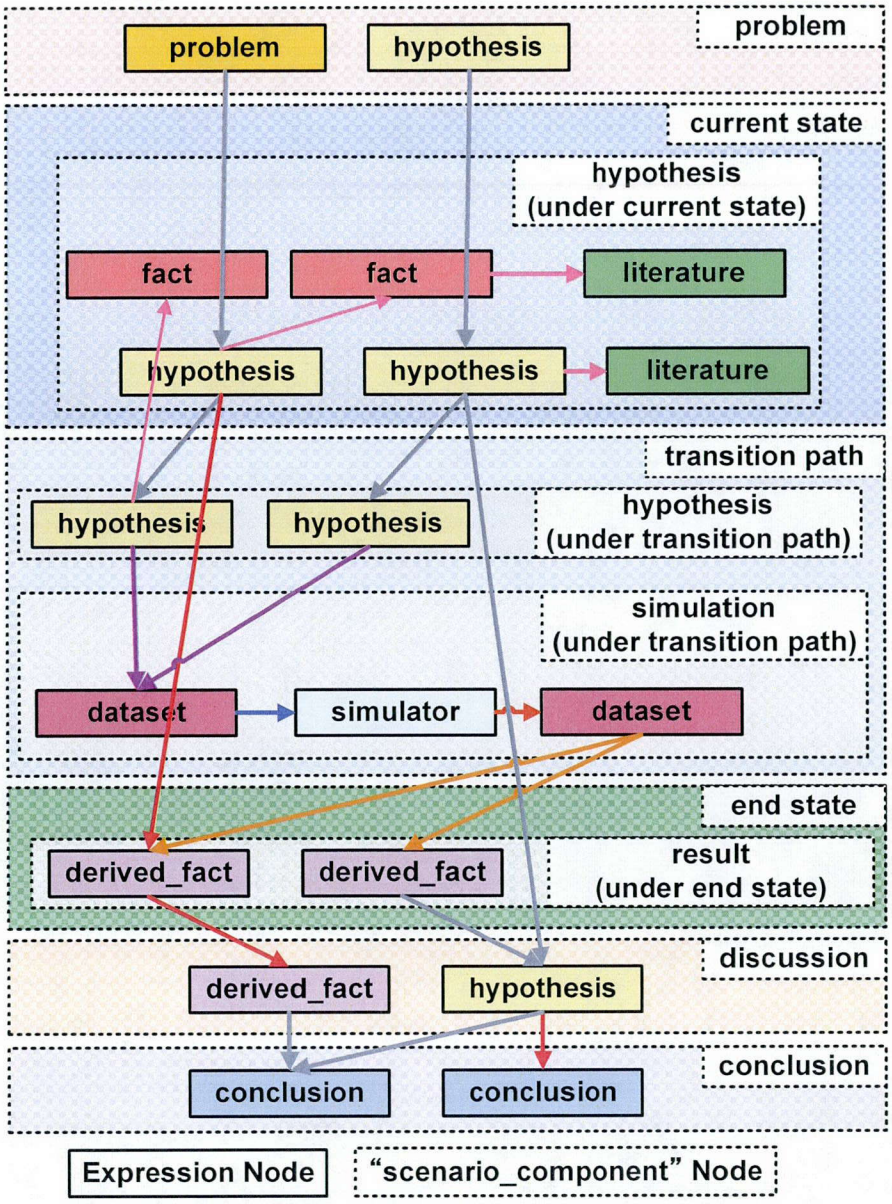

図 5.2.2 フォアキャスティングシナリオのサブシナリオの基本構造

5.3 フォアキャスティング型シナリオ設計プロセス

5.3.1 設計プロセスの全体像

本研究では，図 5.3.1 に示すシナリオ設計プロセスに従って，フォアキャスティング型シナリオ設計を実行するものと定義する．

Phase 1 の問題設定において，シナリオ設計者はシナリオ全体に関係し，どのようなシナリオを作成すべきかを決定するために必要な事項を決定する．Phase 2 において，設計者は対象世界の全体モデルを構築し，構築した全体モデルに基づいて Morphological Analysis を実行することにより，シナリオ全体がどのようなサブシナリオから構成されるか(シナリオの構成)を決定し，それぞれのサブシナリオがどのような将来を描くのかを決定，記述する(ストーリーラインの記述)．Phase 3 において，シナリオの問題やストーリーラインを参考に部分モデルを構築し，各サブシナリオの詳細を構造化シナリオに展開，最後にシナリオの結論を導出する．最後に Phase 4 において，構造化シナリオの形で記述したシナリオに基づいてシナリオ文書を記述する．

以降では，日本の電力供給に関するシナリオをフォアキャスティング型で設計する場合を例として挙げて各ステップについて述べる．

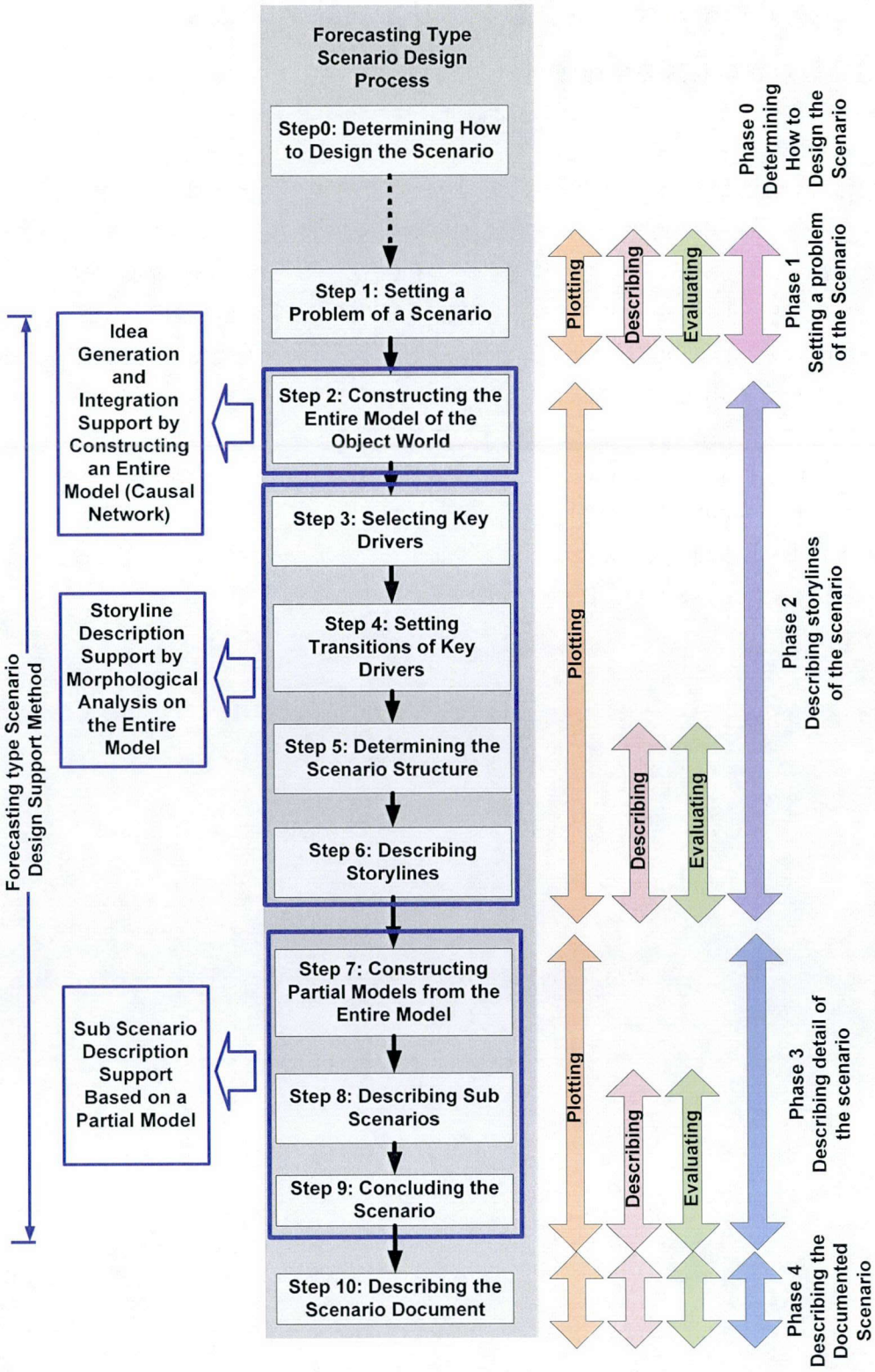

図 **5.3.1** フォアキャスティング型シナリオ設計プロセス

5.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1: シナリオの問題設定

フォアキャスティング型シナリオ設計の最初のステップとして，シナリオ設計者はシナリオの問題設定を行う．このステップで設計者は，データ収集や分析，ブレーンストーミングを通じて，シナリオの初期課題を達成するためにどのようなシナリオを設計しなければならないかを構想し，その結果に基づいての各項目を決定する．これにより，設計者は Phase 2，Phase 3 で考えるべき項目を明確化する．例えばシナリオのタイトルを「日本の発電シナリオ」，対象地域を日本と設定する．

5.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述

Phase 2 でシナリオ設計者は設計しているシナリオがどのような将来について書いた，どのようなサブシナリオから構成されるのかを決定する．フォアキャスティング型シナリオ設計においては，以下の Step 2 から Step 6 の 5 段階の手順を踏んで全体モデル上で Morphological Analysis[33]を行うことにより，ストーリーラインに各サブシナリオの起点となる仮定を記述する．

Step 2: 対象世界の全体モデルの構築

第 2 ステップで設計者は，問題設定の記述を参考にしつつ，ブレーンストーミングなどを通じてシナリオの記述対象世界の構成要素，及びそれらの間の因果関係を抽出し，因果ネットワークを使って対象世界の全体モデルを構築する．

全体モデルの構築の際には，PEST 分析，および要因のグループ化を行って構築中の全体モデルに含まれる要因を分類整理することで，設計者の発想を支援する．PEST 分析は，設計者が全体モデル内の各要因に対して，PEST 分類を表す pest 属性に値を設定することによって行う．要因のグループ化には，同じく category 属性の値(例えば“発電方法”，“エネルギー種別”など)を設計者自身が定義し，それを各要因に設定することによって行う．分類の結果は，5.4 節に後述するフォアキャスティング型シナリオ設計支援システム上で，設計者に対して視覚的に示される．

Step 3: キードライバーの選択

Morphological Analysis を行い，シナリオの構成を決定するために，このステップではキードライバーを選択する．本手法では問題設定で決定した，シナリオの作成目的に関連した要因を目的ノード(target node)に設定し，目的ノードへの影響度の大きさと，要因の将来への不確定性を評価することでキードライバーの選択を支援する．キードライバーの定義は将来の状態が不確定で，かつ対象世界を大きく決定づける要因であるため，将来が描くて気的な要素はキードライバーに適さない．したがって影響度と不確定性の評価においては，不確定性が 0，すなわち将来が確定的な要因を除くために影響度と不確定性の積を基準とし

て用いる.

不確定性の決定

要因の不確定性(表 5.2.2 中の uncertainty の値)は，設計者が，シナリオの記述期間における状態が確定していると想定する要因の不確定性を 0，記述期間において完全に予測不能なほど不確定であると考える要因の不確定性を 5 と設定し，他の要因は不確定性が上下限の要因と比較して相対値を設定することで評価する.

影響度の計算

要因の影響度(表 5.2.2 中 impact の値)は以下の手順に従って評価する. 例として，図 5.3.2 に挙げる全体モデルを Step 2 で構築したとして，それを用いて説明する.

1. 設計者が目的ノード(図 5.3.2 中の N_T)を決定する.
2. 設計者が (a)のような同一の接続先(ここでは要因 N)を持つ m 本のリンク $L_{N-i,N}(1 \leq i \leq m)$間で伝達係数 $W_{N-i,N}$(表 5.2.3 中の link の weight 値に相当)を設定する. その際に，リンク間でリンク先のノードからリンク元のノードに伝達される影響度の大きさに差があると見なす場合はリンク間で 1~5 の相対値を設定する.
3. 以下のアルゴリズムに基づいて各要因の impact 値を計算する.

i. 図 5.3.2 (b)のような全体モデル内の各閉ループを，1 つの要因に置換する. すなわち，閉ループ内の要因に入出力されるリンクは全て置換後の要因に入出力されると見なし，閉ループ内の要因は同一の impact 値を持つとする.

ii. 各リンクの伝達係数を正規化し，影響度係数を計算する. 例えば図 5.3.2 (a)のようにm本のリンクが要因Nを接続先とするとき，要因N-iからNに向かうリンク $L_{N-i,N}$ の伝達係数 WN-i,N を式(5.1)を用いて影響度係数 $w_{N-i,N}$ に正規化する.

$$w_{N-i,N} = \frac{W_{N-i,N}}{\sum_{k=1}^{m} W_{N-k,N}} \tag{5.1}$$

iii. N_T の impact 値を 1 に設定し，ii の計算結果を使って N_T からリンクと逆方向に各要因の impact 値を計算する. 例えば(c)中の N の impact 値 I_N は，N の先にある n 個の要因 N+j$(1 \leq j \leq n)$の impact 値 I_{N+j} と，N と N+j 間をつなぐリンク $L_{N,N+j}$ の影響度係数 $w_{N,N+j}$ とから式(5.2)で計算する.

$$I_N = \sum_{j=1}^{n} w_{N,N+j} \times I_{N+j} \tag{5.2}$$

以上の手順で評価した影響度と不確定性の積をとり，その値が高いものをキードライバー候補として抽出する．設計者はキードライバー候補の中からキードライバーを任意の数だけ選択する．例えば，図 5.3.2 の全体モデルの中から「N-1 原油価格」，「N-i 石炭価格」をキードライバーとして選択する．

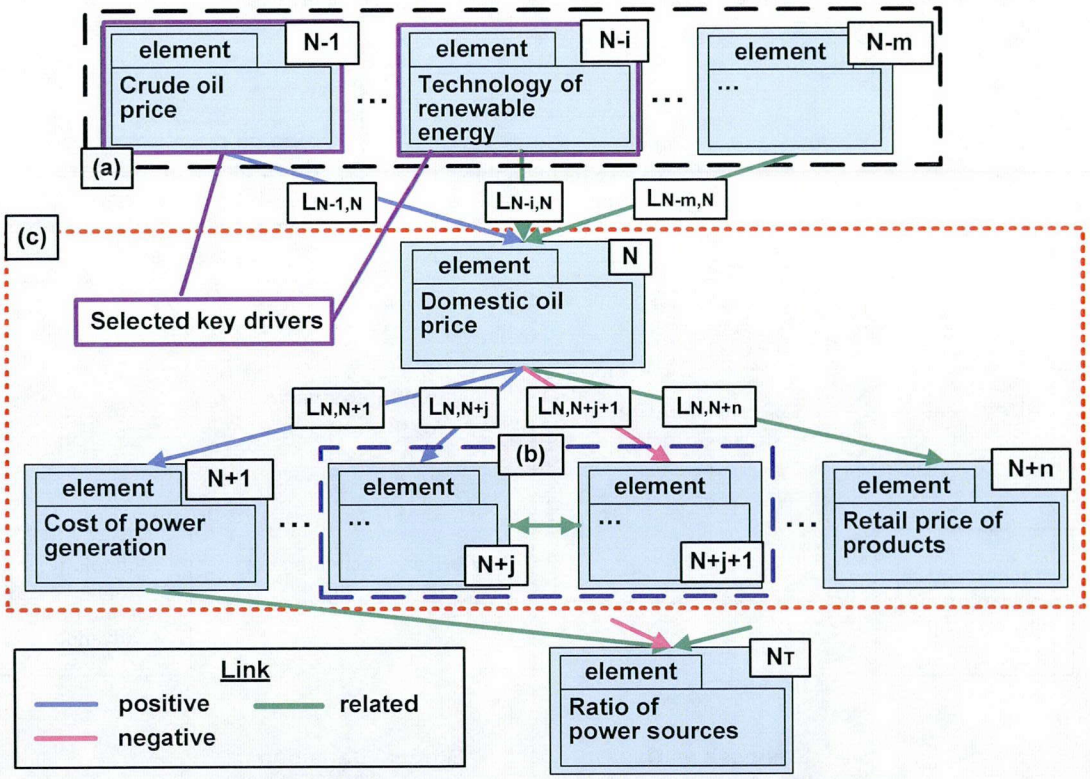

図 5.3.2 目的ノードとリンクの伝達係数の設定の例

Step 4: キードライバーの変化の設定

キードライバー選択後，設計者はそれぞれのキードライバーの将来への変化を，議論などを通じて決定する．例えば，Step 3 で選択したキードライバー「原油価格」に対して，「原油価格が現在の 3 倍に高騰する.」という変化を想定する．

Step 5: シナリオの構成決定

次に，各キードライバーの変化を組み合わせてシナリオに含まれるサブシナリオを決定し，各サブシナリオに名前をつける．例えば，Step 3 の例で選択したキードライバー「原油価格」と「再生可能エネルギー技術」に対してそれぞれ「原油価格が現在のままである/原

油価格が現在の 3 倍に高騰する.」,「再生可能エネルギー技術が飛躍的に進歩する/再生可能エネルギー技術は進歩しない」の 2 つの変化を想定している場合，原油価格との変化の組み合わせから図 5.3.3 に示すように 4 つのサブシナリオを決定し，それぞれのサブシナリオに対して名前をつける.

この作業の結果として，「現状維持シナリオ」,「石油価格高騰シナリオ」,「段階的変化シナリオ」,「再生可能エネルギー革命シナリオ」の 4 つのサブシナリオからなるシナリオの構成を決定した．決定したシナリオの構成(シナリオに含まれるサブシナリオの数と概要)は，構造的記述法の Scenario Level を用いて図 5.3.4 のように記述する.

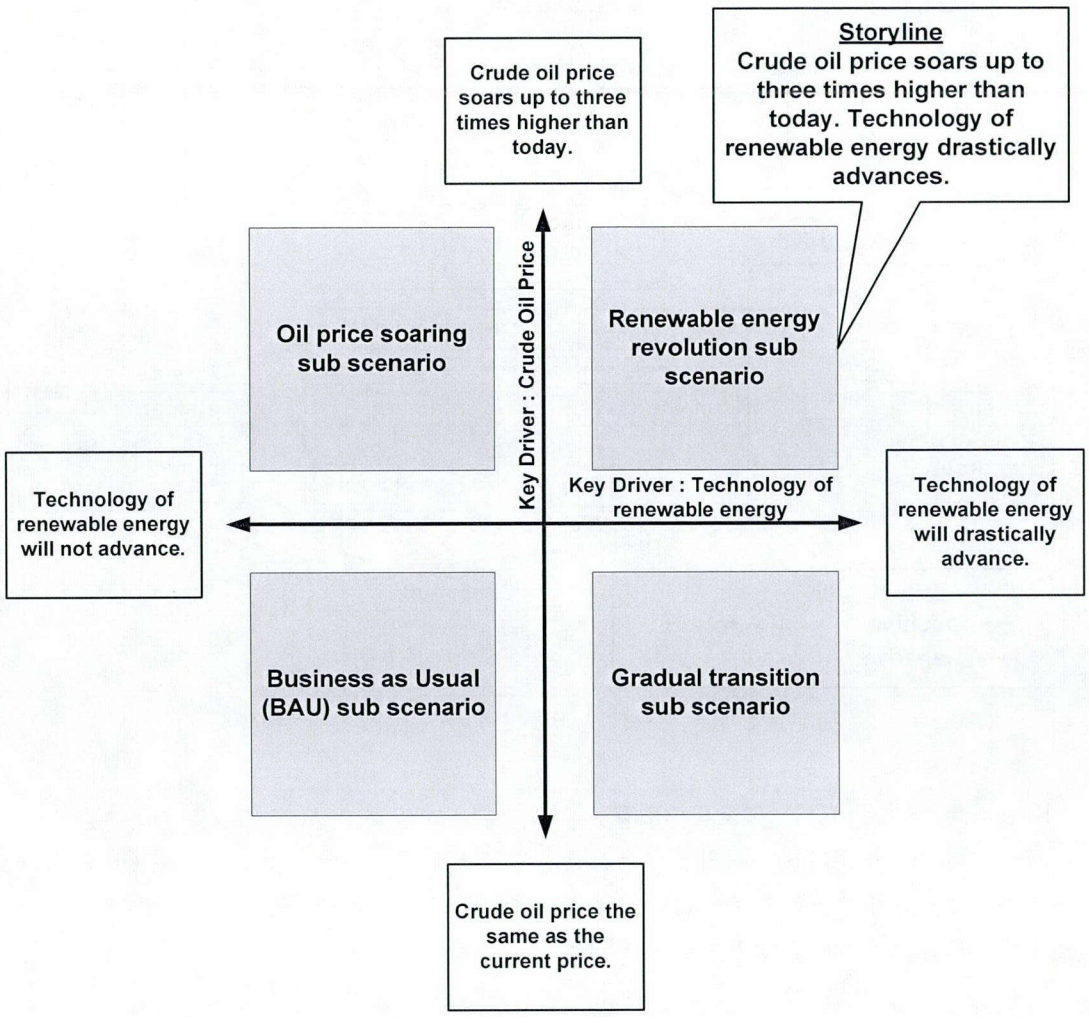

図 **5.3.3** キードライバーとその状態，ストーリーラインの関係の例

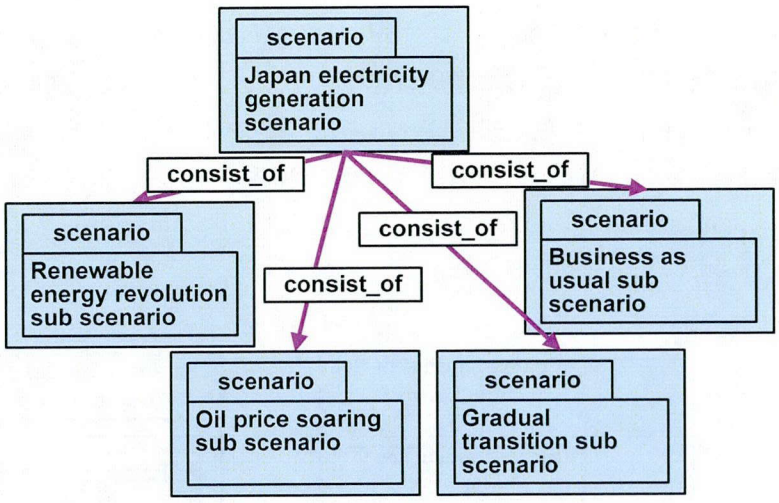

図 5.3.4 Scenario Level を用いて記述したシナリオ構成の例

Step 6: ストーリーラインの記述

最後に設計者は，キードライバーの変化の組み合わせを，各サブシナリオの起点となる仮定としてストーリーラインに記述する．例えば図 5.3.3 のように，「再生可能エネルギー革命シナリオ」のストーリーラインに，「原油の価格が 3 倍に高騰する．再生可能エネルギー技術は飛躍的に進歩する．」と記述する．このステップでストーリーラインに記述したキードライバーの変化に関する仮定は，後述するシナリオ設計支援システムが構造化シナリオ上内の，“transition path”コンポーネント下の“hypothesis”ノード内に既述する．

5.3.4　Phase 3 シナリオの詳細の記述

Phase 2 までで決定したシナリオの大枠に基づいて，最後にシナリオの詳細を記述する．この Phase は，「対象世界の部分モデルの構築」，「サブシナリオの記述」，「シナリオの結論付け」の 3 ステップで実行し，構造化シナリオを有向グラフとして表現した論理構造図上で設計操作を行う．

Step 7: 対象世界の部分モデルの構築

このステップで設計者は，全体モデルを部分モデルに詳細化することにより，各サブシナリオを記述する上で検討すべき項目を整理，明確化する．設計者は各サブシナリオのストーリーラインを参照し，その内容に合わせて全体モデル内の要素の粒度を詳細化して，部分モデル内の要素を作成する．更に全体モデル内の因果関係を参照して，部分モデルの要素同士を因果関係で接続する．

図 5.3.5 に「再生可能エネルギー革命シナリオ」における部分モデル構築の例を示す．図 5.3.5 中では，図 5.3.2 内で選択されたキードライバーでもある「(A)原油価格」は詳細化せず，部分モデルにおいても「(a)原油価格」のままとした．一方で，「(B)石油の国内価格」に

ついては，「(b)国内のガソリン価格」，「(c)国内の重油価格」と 2 つの要素に分けて詳細化した．また，「(C)発電コスト」を「既存電力供給システムのコスト」に詳細化した．(A)と(a)，(B)と(b)(c)，(C)と(d)間の詳細化の関係は "detailed" リンクによって表現した．全体モデル中の「(A)原油価格」と，「(B)石油の国内価格」の間の関係に基づいて，(a)と(b)，(c)の間の因果関係として，"related" リンクを接続した．(B)と(C)の間の "positive" リンクに基づいて，(c)，(d)の間にも "positive" リンクを接続した．

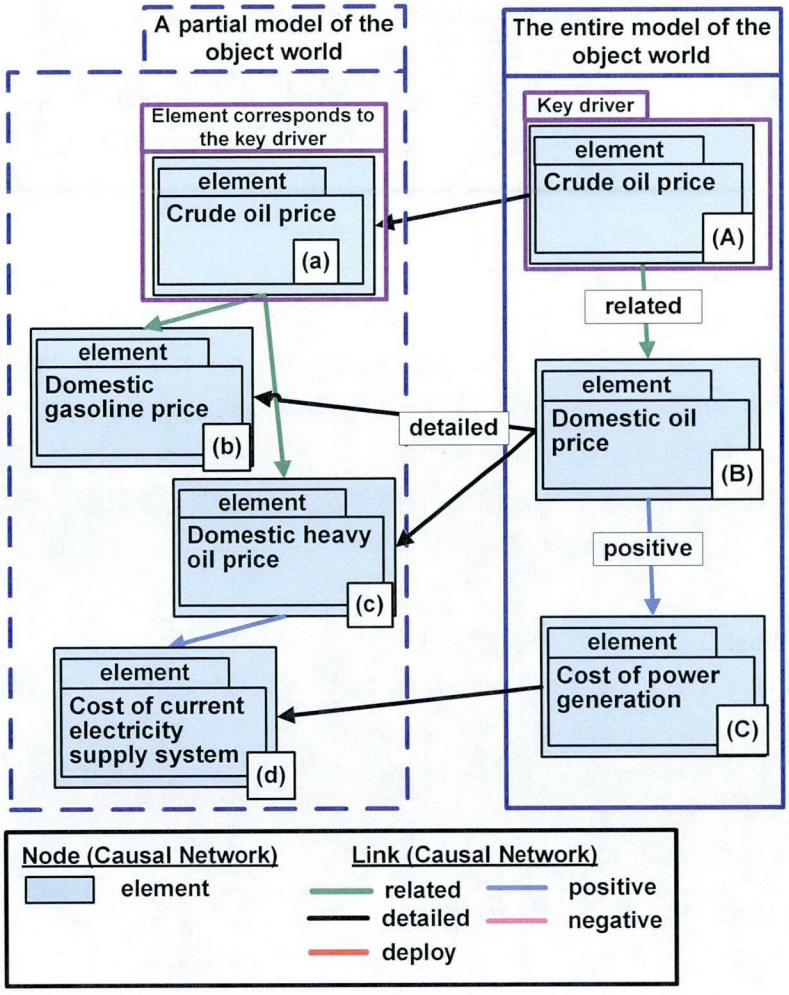

図 5.3.5 全体モデルに基づく部分モデルの構築の例

Step 8: サブシナリオの記述

サブシナリオに合わせて部分モデルを構築した後に，設計者は構造的記述法の Expression Level を用いて各サブシナリオを記述する．その際に設計者は，思考，ディスカッション，データ収集，分析，シミュレーションを通じてサブシナリオの詳細を構想し，構想の結果を構造化シナリオに記述する．図 5.2.2 に示したように，フォアキャスティング型シナリオ

のサブシナリオにおいては個々の記述を“current state”, “transition path”, “end state”の 3 つに分類することによってシナリオ内における時間の推移を表現する．このステップで設計者は，部分モデルをガイドラインとし，ストーリーラインに書いたキードライバーの変化を起点として，その変化が因果関係を通じて部分モデル内の要素にどのように影響し，それらがどう変化していくのかを移行過程(“transitionpath”)に展開していく．すなわち，部分モデル内の要因の変化を Expression Level のノードに記述し，部分モデル内の因果関係を参考に，Expresion Level のノード間にリンクを接続する．構想の結果のうち，対象世界の記述開始年付近の状態については現在の状態(“currentstate”)に，移行過程の結果としてたどり着いた終端状態については(“endstate”)に記述する．

Step 7 の例で構築した「再生可能エネルギー革命シナリオ」の詳細を，図 5.3.6 に示す例のように展開したとする．Phase2 でストーリーラインに記述したキードライバーの状態に関する仮定「(i)原油価格は今日の 3 倍になる.」と全体モデル内のキードライバーから詳細化した部分モデル内の要因「(a)原油価格」を“deploy”リンクで接続し，サブシナリオの起点となる仮定を対象世界の部分モデルに根拠づける．続いて，(i)を始点として，サブシナリオの詳細を展開する．部分モデル内の(a)と「(b)国内の重油価格」の間の因果関係に基づいて，原油価格が 3 倍になった結果として「(ii)国内の重油価格が現在の 2 倍になる」ことを，仮定を表す hypothesis ノードに記述している．この例では，(i)と(ii)の間には論理的な飛躍があるため，両者の間を“logical_jump”リンクで接続している．更に，(c)と「(d)既存電力供給システムのコスト」の間の“positive”リンクに基づいて既存電力システムの発電コストが上昇することを「(iii)既存の電力供給システムの発電コストが上昇する.」という仮定を導出している．その際に，日本の電力供給システムについての調査に基づいて日本の電力供給システムの現状について“currentstate”コンポーネントに，「(iv)現状，日本の電力の約 60%は火力発電により生み出されている.」と事実“fact”を記述し，(iii)を根拠づける．この根拠づけの関係は，“refer”リンクによって表現する．(iv)によって根拠づけられたため，(ii)から(iii)は論理的に導出されていると判断して，“causality”で接続する．

以上のような手順で各サブシナリオの現在の状態，移行過程，終端状態まで記述した後に，各サブシナリオについて議論を行い，結論を記述する．それらの記述は，それぞれ“discussion”, “conclusion”コンポーネントに含める．

Step 9: シナリオの結論付け

Step8 に述べた手順に従って各サブシナリオを記述し，それぞれのサブシナリオ内で結論を導出する．最後に，各サブシナリオの結論を比較し，シナリオの問題設定を参照してシナリオの結論を導出する．

各サブシナリオを結論付ける際に，Step 6 でキードライバーの変化に関する仮定のみが記述されているストーリーラインに対して将来の状態に至る流れの概要を記述し，ストーリーラインを完成させる．

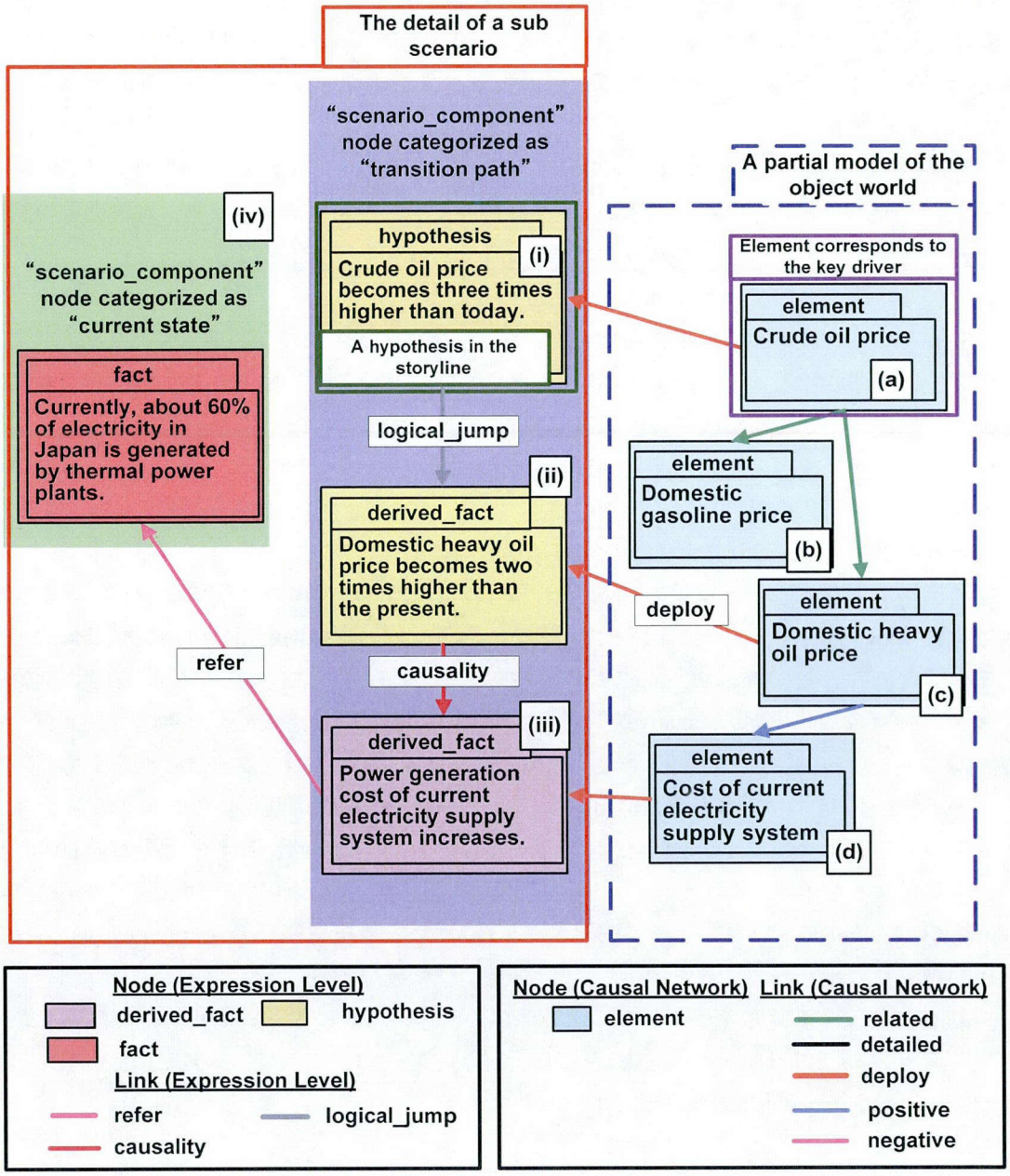

図 5.3.6 部分モデルをガイドラインとして用いたサブシナリオの記述

5.3.5　Phase 4 シナリオ文書の記述

Step 10: シナリオ文書の記述

Phase 3 の結果として，シナリオの詳細を記した構造化シナリオが得られる．Phase 3 は論理構造図上で行われているため，その結果である構造化シナリオは文章としては必ずしも読みやすいものとはならない．そこで，このステップにおいて文章として読みやすいよう

に Expression Level のノードとして表現される個別の節の文章上の順序を入れ替え，適宜接続詞などを補ってシナリオ文書を記述する．以上の過程により，図 5.2.1 のフォアキャスティング型シナリオモデルを完成させる．

5.4 フォアキャスティング型シナリオ設計支援システム

本節では 5.3 節で提案したシナリオ設計プロセスを実行し，5.2 節で定義したシナリオモデルを操作するための設計支援環境として実装したフォアキャスティング型シナリオ設計支援システムについて述べる．

5.4.1 システム構成

本項では，フォアキャスティング型シナリオ設計支援システムの全体像について述べる．

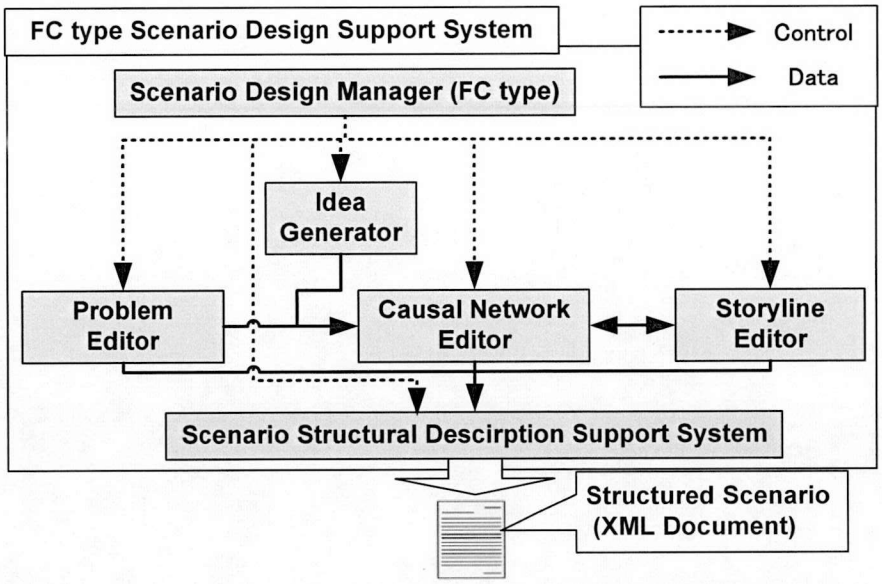

図 5.4.1 フォアキャスティング型シナリオ設計支援システムの構成

このシステムは 3S Simulator の一部として，Microsoft 社の WindowsOS 上で動作し，実装には Visual C#[56]を用いている．このシステムのアーキテクチャーは図 5.4.1 のようになり，以下の 6 つのツールから構成される．

1. Scenario Design Manager (FC type)：システム全体の管理を行うツール．他の各ツールはこのツールから起動し，シナリオ設計の進捗状況を管理する．また，各ツールで操作するシナリオモデルの各要素間で整合性の管理も行う．
2. Problem Editor：シナリオの問題設定を実行するために用いるツール．
3. Idea Generator：因果ネットワークの項目をブレーンストーミングするためのツール．
4. Causal Network Editor：因果ネットワークの構築，操作を実行するツール．全体モデルの構築，部分モデルの構築，部分モデルからの構造化シナリオの展開などに用いる．
5. Storyline Editor：シナリオの構成を決定し，ストーリーラインを編集するために用い

るツール.

6. Scenario Structural Description Support System：サブシナリオの詳細を構造化シナリオとして記述するためのツール．先行研究で開発されたものを呼び出して使用する.

5.4.2 データ構造

このシステムでは，5.2 節で述べたフォアキャスティング型シナリオのモデルを，モデルの各要素を表す XML(eXtensible Mark-Up Language)[55]ファイルと，それらを集約して格納した Windows システム上のフォルダとして計算機上で表現する．その構成を図 5.4.2 に示す．シナリオ名をつけられた最上位のフォルダの下に，シナリオに含まれる図や表に相当する画像データを保存した image フォルダとモデルの各要素を格納した xml ファイルを集約した xml フォルダを配置する．xml フォルダ内には以下の 7 つの xml ファイルを含む

- configurations.xml : シナリオ設計の進捗状況を管理するためのデータ. Scenario Design Manager (FC type)で操作する.
- problem.xml：シナリオの問題を保存した XML ファイル．Problem Editor 上に記述されたデータを保存する.
- deploylinks.xml: シナリオモデル内の要素と構造化シナリオの Expression Level のノードを関連づける“deploy”リンクを格納する．Scenario Design Manager 及び Causal Network Editor で操作する.
- ideas.xml : 発想された全体モデル，部分モデルの要素を保存した XML ファイル. Idea Generator 上での作業の結果を保存する.
- causalnetwork.xml : 因果ネットワーク，すなわち部分モデルと全体モデルを管理する. Causal Network Editor で主に編集し，Storyline Editor からも操作される.
- storyline.xml：Storyline Editor 上で作成した，シナリオの構成，各サブシナリオのタイトル，ストーリーラインを保存する XML ファイル.
- ScenarioName.xml：構造化シナリオファイル.

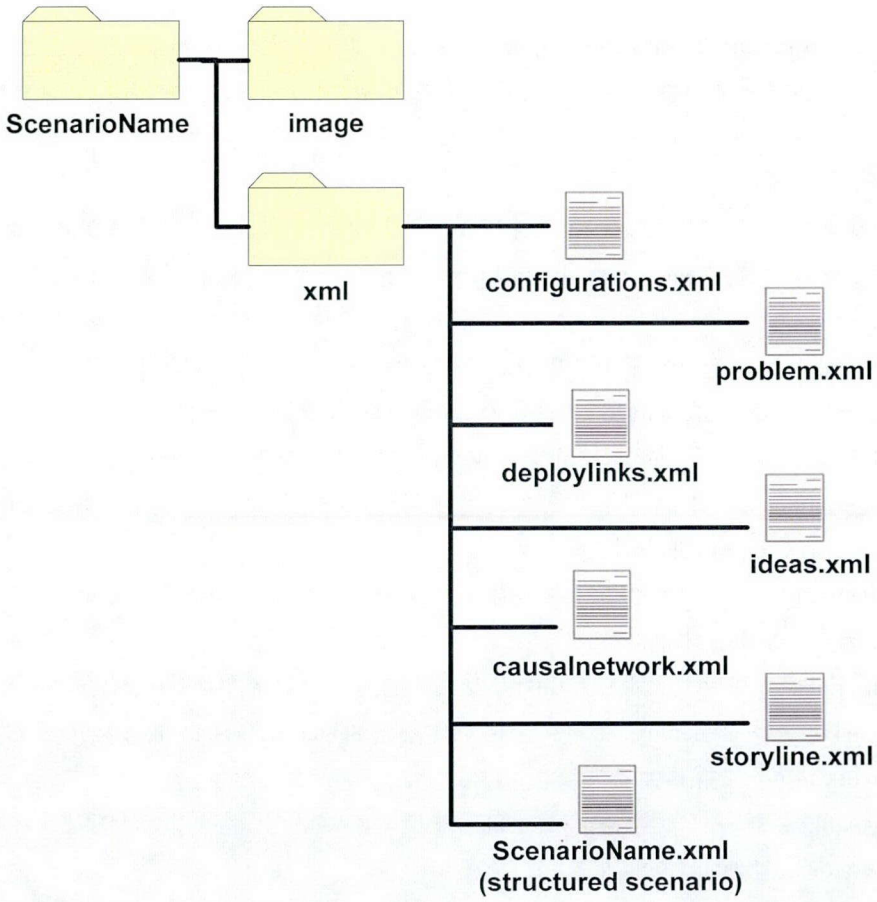

図 5.4.2 フォアキャスティング型シナリオモデルの実装(フォルダ構成)

5.4.3 Scenario Design Manager (FC type)

Scenario Design Manager (FC type)は，シナリオ設計支援システム全体の管理を行うツールであり，以下の機能を持つ．

1. 設計するシナリオの選択(新規設計の開始，設計途中で中断したシナリオの選択)
2. 設計途中のシナリオの保存
3. シナリオ設計の進捗状況の管理
4. 各サブモジュールの起動，管理(同一ツールの二重起動の禁止，ツール間でのデータの整合性管理)

すなわち，ユーザはこのツール上でシナリオのデータを格納したフォルダを選択することでシナリオのデータを読み込む．設計の進捗状況は，各ツールの起動ボタンが有効化されるか否かにより管理され，configurations.xml に保存される．このツールの画面は図 5.4.3 のようになる．ユーザは Problem Editor などのシナリオモデルの各要素を操作するためのツールを起動する．それらのツールの終了時に，Scenario Design Manager はシナリオモデル内の各要素間の整合性を確保する処理を実行する．

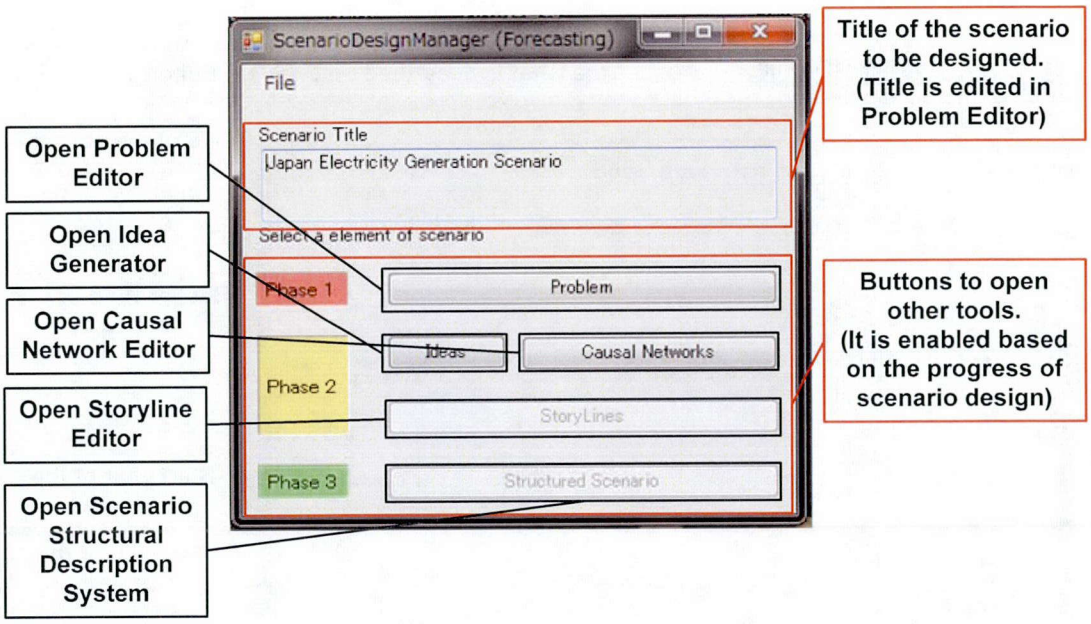

図 5.4.3 Scenario Design Manager のスクリーンショット

5.4.4　Problem Editor

Problem Editor は問題設定を行うためのツールであり，ユーザはこのツール上で表 4.3.2 の問題設定の項目を設定する．設定した項目は problem.xml に保存する．図 5.4.4 に ProblemEditor のスクリーンショットを示す．

このツールは，設計者が設定した問題の内容に基づいて構造化シナリオの Scenario Level, Expression Level の記述を作成する機能を持つ．Problem Editor はこのシナリオの全体を表す“scenario”ノード(“scenario”ノードにおいてシナリオ名を表す“scenario name”属性の値には Problem Editor 上で設定した title の値を入力する．)と“problem”コンポーネントノードを作成し，“objective”，“background”に書かれている内容に基づいて Expression Level の“problem”ノードを作成し，構造化シナリオ内に挿入する．

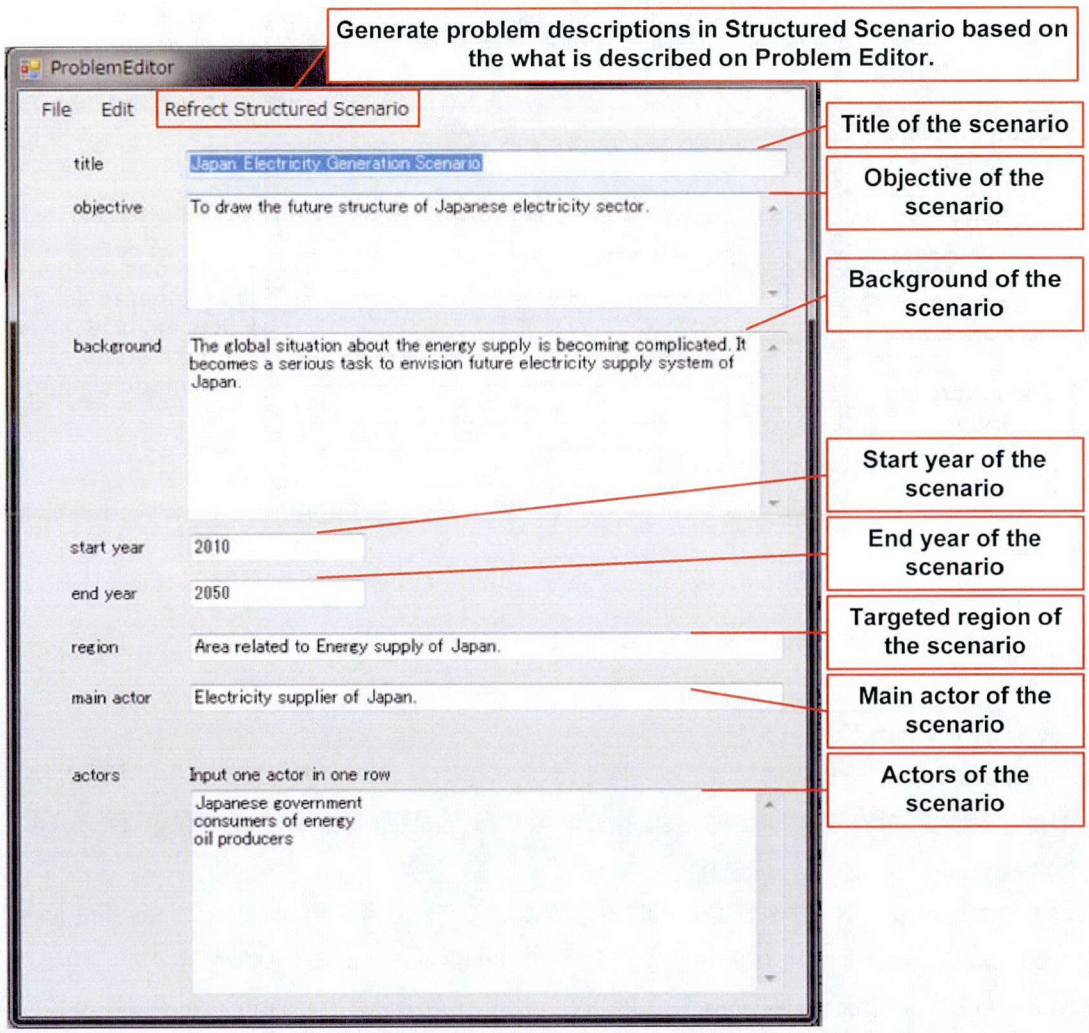

図 5.4.4 ProblemEditor のスクリーンショット

5.4.5 Idea generator

Idea Generator においては，因果ネットワークを構成する要因の発想を行う．このツールは図 5.4.5 のようなインターフェースを持つ．要因名の入力スペースから要因を新規作成することができ，その要因に対して，ビジネス戦略の作成にしばしば用いられる PEST(Political, Economic, Sociological, Technological)分析[62]の分類を行うことでユーザの発想を支援する機能を持つ．新規作成した要因はまず，図 5.4.5 の左下部にある Ideas List 部分に表示される．次に設計者は Ideas List 内にある各要因に，PEST 分類を追加する．その分類に基づいて Idea Generator は，要因を画面右部にあるスペースに移動させる．PEST 分類は決定した後からでも任意に移動させることが可能である．PEST 分類がされた要因，されていない要因含めて ideas.xml に保存する．

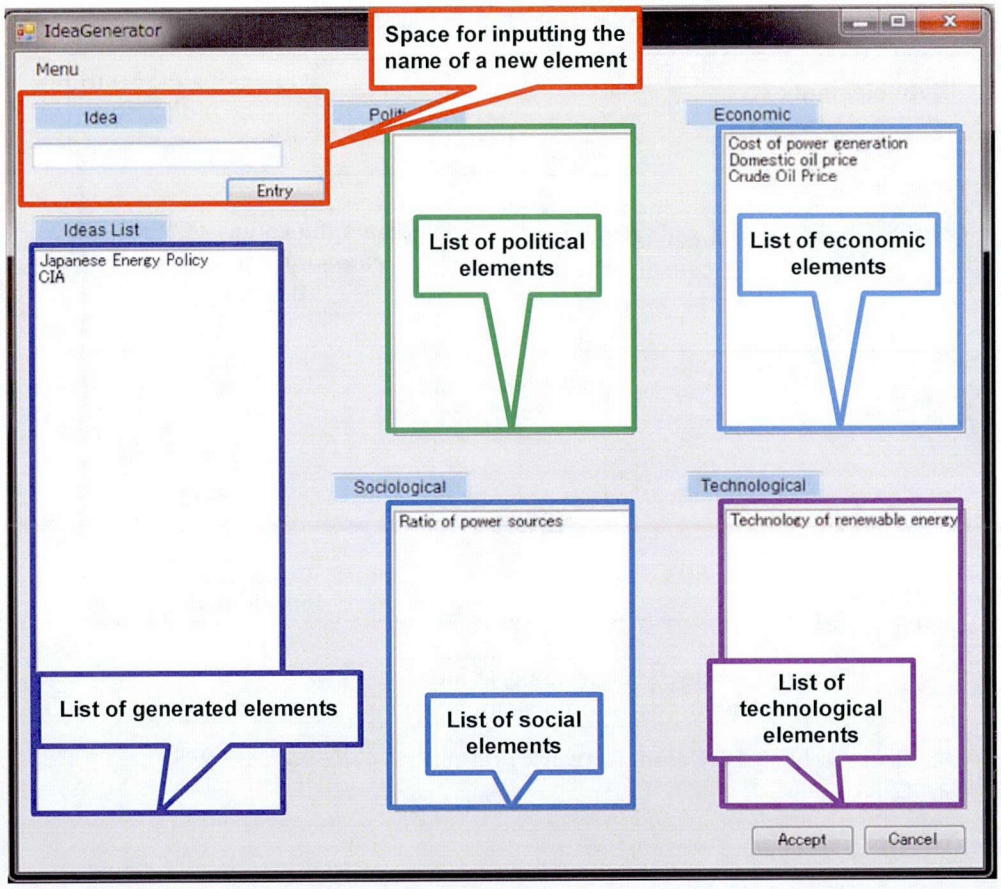

図 5.4.5 Idea Generator のスクリーンショット

5.4.6　Causal Network Editor

因果ネットワーク構築ツールは因果ネットワーク(全体モデル，および部分モデル)の操作を行うツールである．ツール上において，因果ネットワークは図 5.4.6 のように表される．要因を表すノードの位置はツール上で任意の場所に移動することができ，因果関係を表すリンクはノードの移動に追随して移動する．全体モデル，部分モデルともに，causalnetwork.xml で保存する．

Causal Network Editor は以下の機能を持ち，ユーザのシナリオ設計を支援する．

(1) 全体モデルと部分モデルの切り替え

(2) Idea Generator において生成した要因のリストからの，ノードの自動作成

(3) ノードの作成，編集

(4) リンクの接続，編集

(5) 因果ネットワークの特徴(ノードの属性，閉ループ)の強調表示

(6) キードライバー候補の抽出

(7) 部分モデルと構造化シナリオの関係づけ

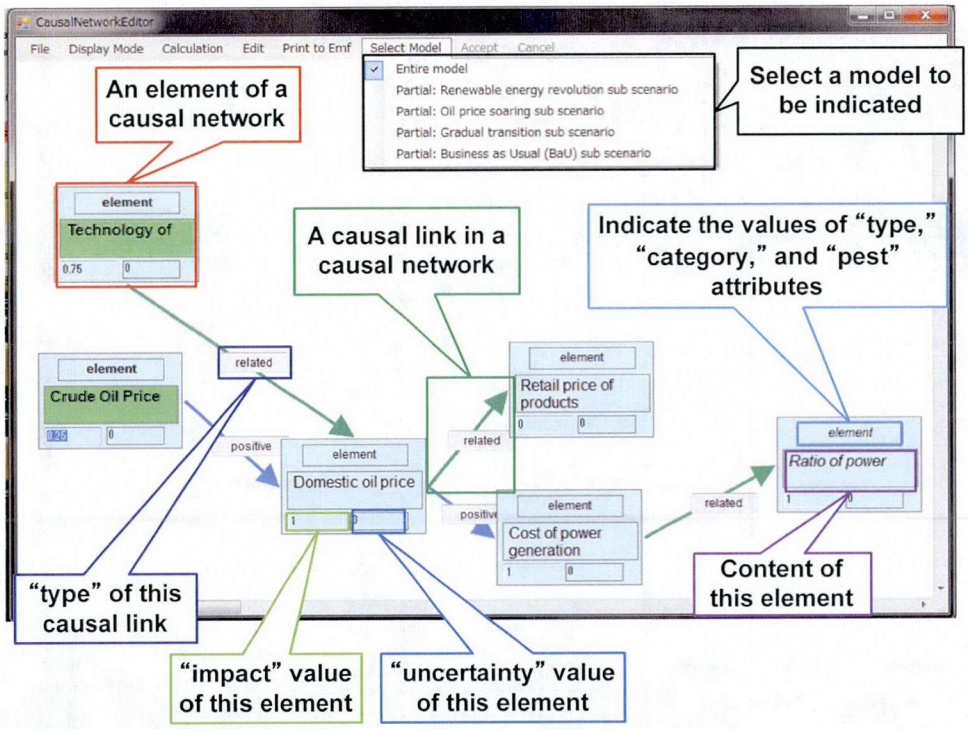

図 5.4.6 Causal Network Editor のスクリーンショット

(1)　全体モデルと部分モデルの切り替え

Causal Network Editor は全体モデルと部分モデルを同一のフィールド上で表示するため，それらの間の表示を切り替える機能を持つ．本研究で提案するフォアキャスティング型シナリオ設計方法論で，全体モデルの数はシナリオ全体に対して 1 つであると定義するが，サブシナリオの数=部分モデルの数は任意の数がありうる．したがって，Causal Network Editor は Storyline Editor 上で作成したシナリオの構成に関する情報を参照してサブシナリオに対応する部分モデルを編集可能とし，全体モデル，部分モデル間で表示の切り替えを可能とする(図 5.4.6 参照).

(2)　Idea Generator において生成した要因のリストからの，Node の自動作成

このツールは，ideas.xml に保存された要因のリストを読み込み，全体モデル内の Node を自動的に生成する機能を持っている．その際に，Idea Generator で決定した要因の PEST 分類を，生成される Node の pest 属性の値として自動的に割り当てる．

(3)　ノードの作成，編集

モデル内の要因に相当する因果ネットワークのノードはこのツール上で作成，編集が可能である．要因が保有する情報を規定した属性のうち，アルゴリズムに従って計算される "impact"以外の属性の値は，設計者がノードの編集機能を使用して決定する．ノードに相当

する要因がキードライバーであるか否かもノードの属性値として表現されているので，キードライバーの設定もノードの編集機能を用いて行う．

部分モデル内のノードを作成する際，すなわち Causal Network Editor 上に部分モデルを表示した状態で，詳細化の元とする全体モデル内のノードを選択する．Causal Network Editor は詳細化元のノードと詳細化先のノードの間に“detailed”リンクを接続する．

(4) リンクの接続，編集

要因同士を接続するリンクはツール上から作成，編集が可能である．リンクの“weight”属性の値は，この機能を使用して設計者が設定する．

(5) 因果ネットワークの特徴(ノードの属性，閉ループ)の強調表示

このツールは対象世界モデルの特徴(ノードの属性，閉ループ)を抽出して設計者の目に把握しやすいように表示する機能を持つ．この機能によって強調表示をする項目は以下の通りである(閉ループの強調表示の例を図 5.4.7 に示す).

- pest 分類
- category 属性
- key driver
- target node
- 閉ループ
- 終端ノード(他のノードからリンクが入力されないノード)

(6) キードライバー候補の抽出

このツールは，5.3.3 項に述べたアルゴリズムに従って，キードライバー候補を抽出する機能を持つ．この機能を使う上では，図 5.4.8 のようにノードとリンクとその属性が表形式で一覧され， Causal Network Editor はその表に入力された情報を基にして，要因の影響度・不確定性を計算することでキードライバー候補を抽出する．

(7) 部分モデルと構造化シナリオの関係づけ

Causal Network Editor は構造化シナリオを作成，編集する際にも用いる．Scenario Structural Description System の起動時に同時に起動され，部分モデルを表示する．設計者は Scenario Stuctural Description System 内に表示しているサブシナリオに対応する部分モデルに表示を切り替え，部分モデル内のノードを選択してその状態，変化を Scenario Structural Description System が保持する構造化シナリオ内の Expression Level のノードに記述する．構造化シナリオ上に既に存在する Expression Level のノードに対して，部分モデル内のノードを関連付ける機能も有する．Causal Network Editor はこの操作の結果に基づいて，部分モデル内のノードと Expression Level のノード間の導出関係を表す“deploy”リンクを作成する．

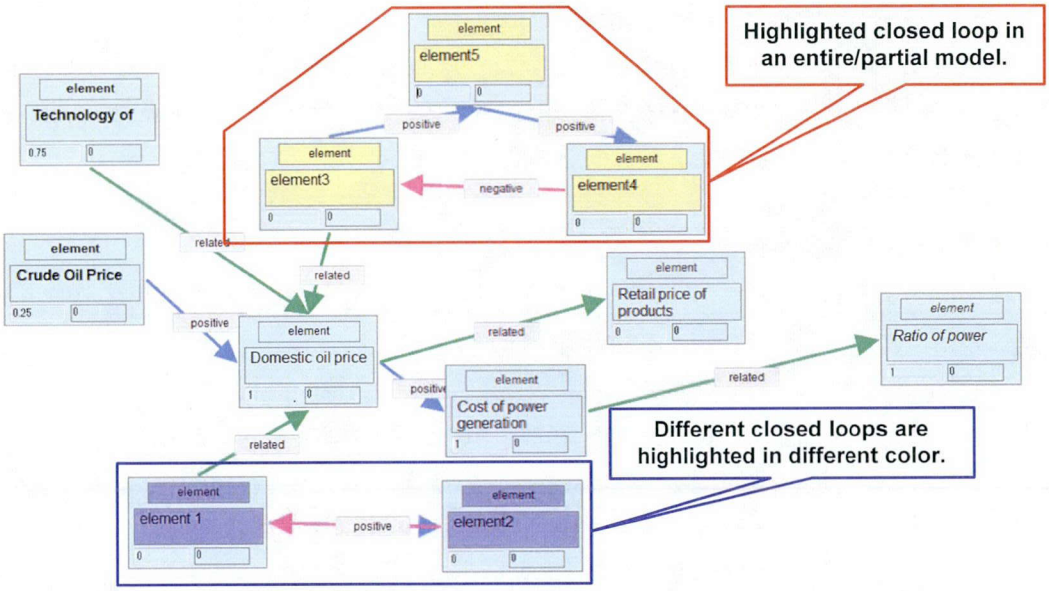

図 **5.4.7** 対象世界モデルの特徴の強調表示の例(閉ループ)

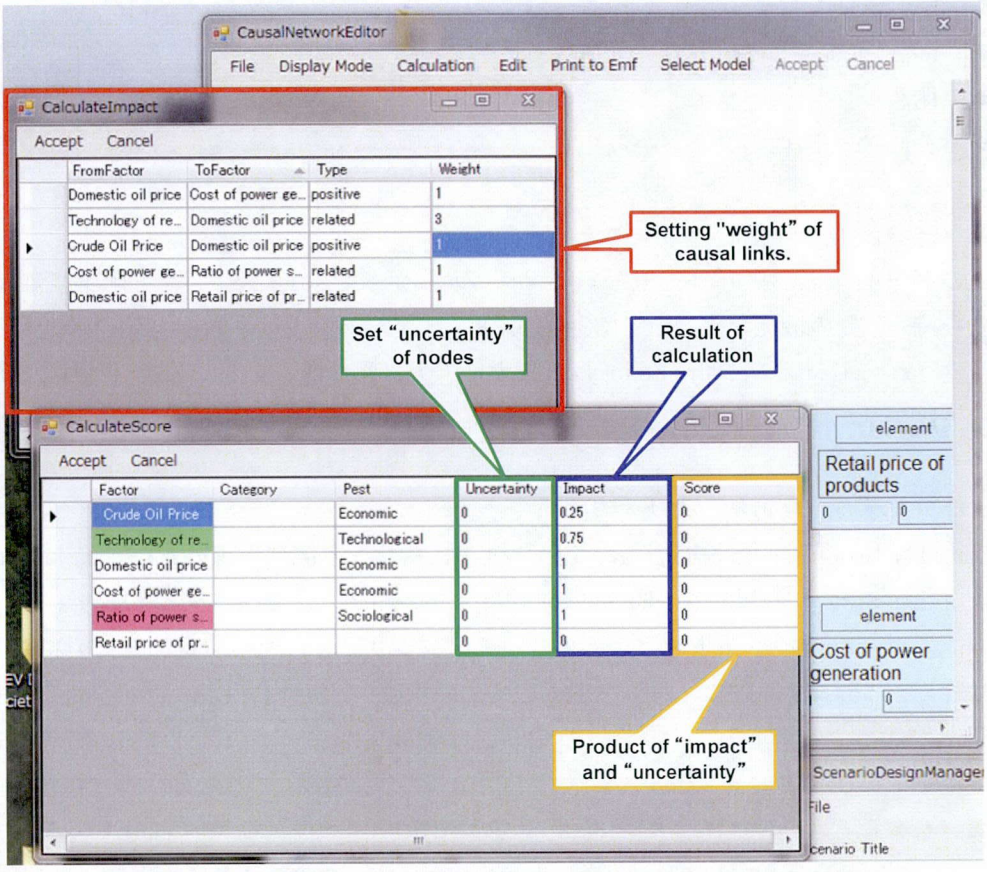

図 **5.4.8 Causal Network Editor** のキードライバー抽出機能

5.4.7　Storyline Editor

Storyline Editor はシナリオ構成を決定し，各サブシナリオのストーリーラインを記述するツールである．インターフェースは図 5.4.9 のようになっており，このフォームではキードライバーとその変化，及びストーリーラインの間の関係をツリー形式[62]で表現する．図 5.3.3 のようなマトリクス形式ではシナリオの構成の把握が容易な半面，3 つ以上のキードライバーとその変化を扱うことができないが，ツリー形式では，任意個のキードライバーとその変化を想定することが可能となる．起動すると causalnetwork.xml を読み込み，Causal Network Editor 上で設定されたキードライバーを抽出し，画面上に配置する．キードライバーが変更されている場合には，Storyline Editor が保持している変更前のキードライバーと比較して整合性が取れていないことを指摘し，その変化，及びサブシナリオとストーリーラインを変更するかどうかを設計者に対して確かめる．ツール上で決定したキードライバーの状態，サブシナリオの名前，サブシナリオのストーリーラインは，storyline.xml に保存する．

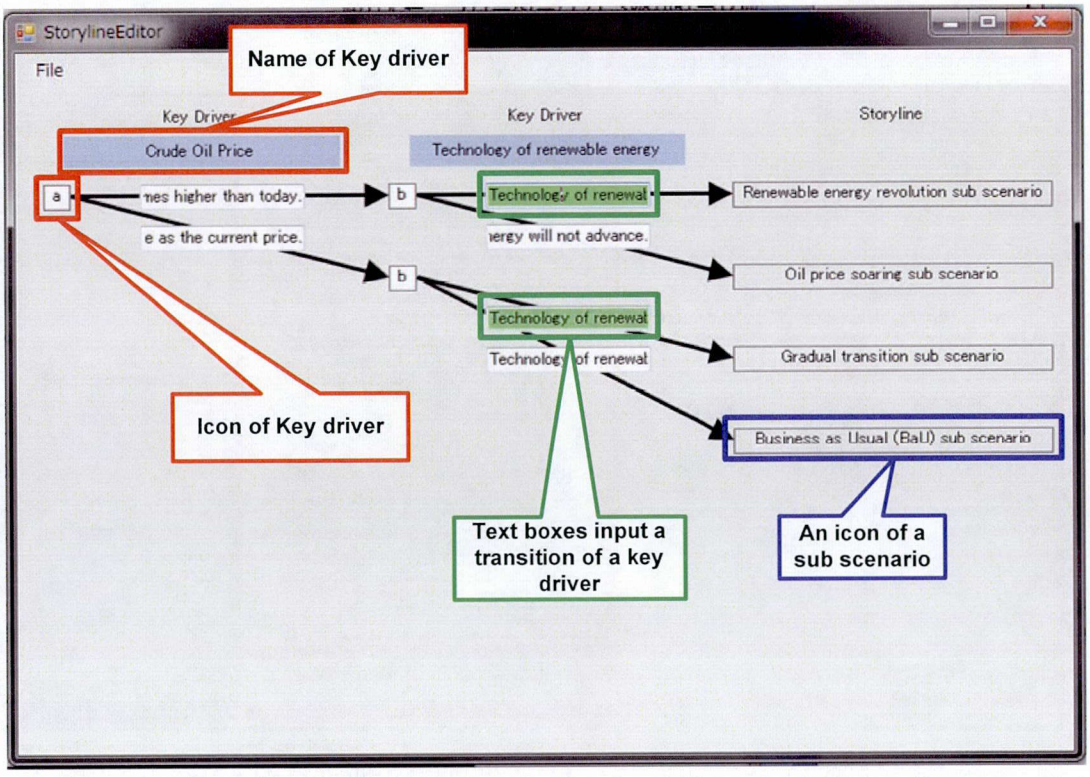

図 5.4.9 Storyline Editor のスクリーンショット

5.4.8　Scenario Structural Description Support System

このツールで設計者は，Phase 3 のサブシナリオの記述とシナリオの結論付けを行う．このツールは図 5.4.10 のようなインターフェースを持つ，フォアキャスティング型シナリオ設計方法論においては，主にシナリオ可視化ツール上において有向グラフとして表現された構造化シナリオの Scenario Level，Expression/Data Level にシナリオの詳細を記述する．また，本手法の Step 10 を実行するために，構造化シナリオに基づいて構造情報を除いたテキストファイルを出力する機能を新たに実装する．

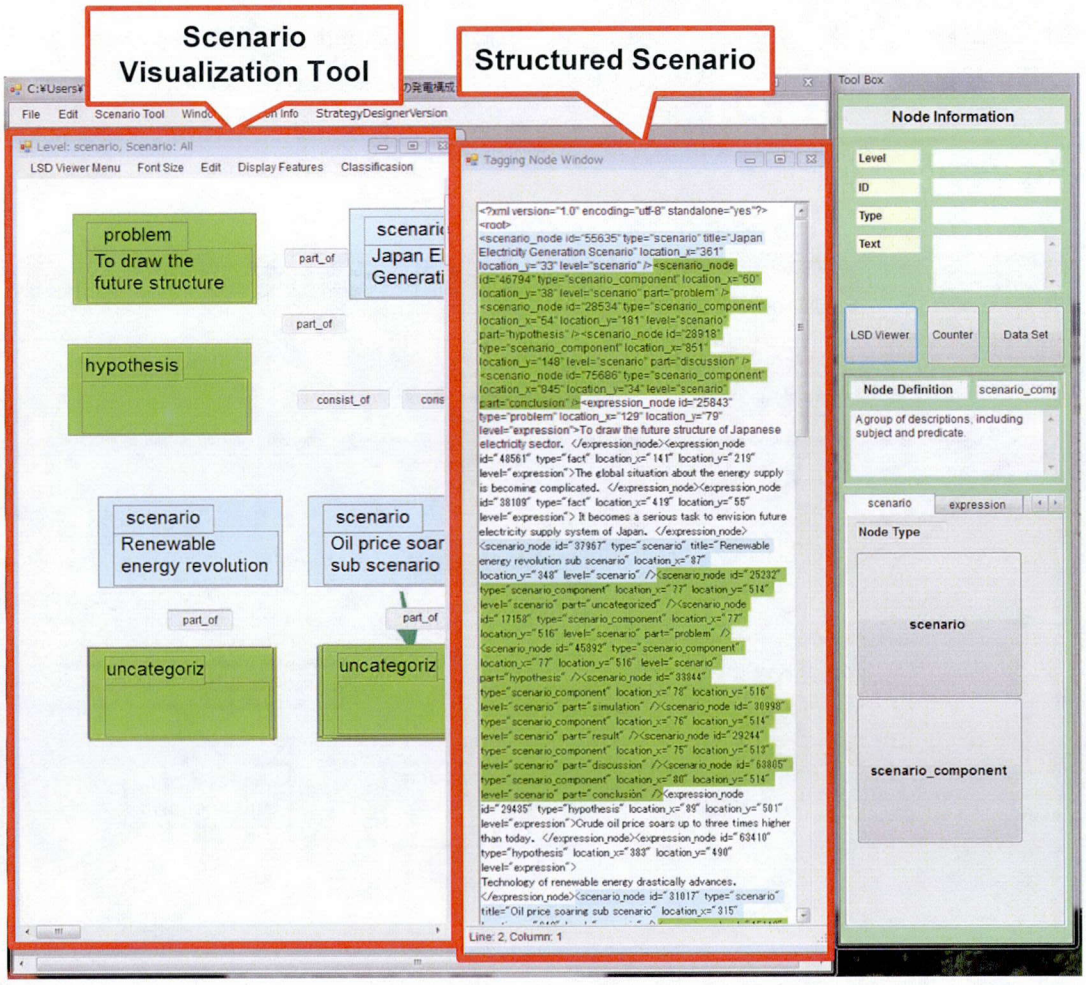

図 5.4.10 Scenario Structural Description Support System スクリーンショット

5.5 支援システムを用いたシナリオ設計プロセス

本節では，以上で述べてきたシナリオ設計支援システムを用いたシナリオ作成プロセスについて述べる．

Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1 シナリオの問題設定

まずシナリオ設計者が Scenario Design Manager (FC type)を起動し，シナリオの作成場所を指定してシナリオ名を入力し，シナリオの設計を開始する．これ以降，手順が 1 つ終わるたびに Scenario Design Manager (FC type)の各ツールを起動するボタン(図 5.4.3 を参照)を押して次のステップに進む．

問題設定のために設計者は Problem Editor を起動する．設計者間でのディスカッション，あるいはデータの収集，分析などでシナリオの問題を構想し，その結果を整理して，Problem Editor に入力する．Problem Editor 上の「構造化シナリオに反映する」メニューをクリックすると，問題設定の結果に基づいて，Problem Editor が構造化シナリオの Scenario Level にその最低限の要素，すなわちシナリオ全体を表す“scenario” node とその“problem”, “hypothesis”, “discussion”, “conclusion”ノードを作成する．更に Problem コンポーネント内にシナリオの問題に関する記述を，Expression Level のノードとして挿入する．

Phase 2 ストーリーラインの記述

Step 2 全体モデルの構築

シナリオに登場する利害関係者(メインアクター，アクター)，シナリオ記述の背景，目的，テーマを参考にしつつ，ブレーンストーミングによって全体モデルを構成する要因を発想する．発想した要因を Idea Generator に入力し，要因を分類することで PEST 分析を行い，更にアイデアを膨らませる．Idea Generator で発想した要因を Causal Network Editor に読み込み，“category”の値を定義し，定義した値を要因に対して設定することで要因を分類し，全体モデルの要因を整理しつつ，それらの間に因果関係を接続し，全体モデルを構築する．整理，因果関係の接続の際に不足していると判断された要因は，Causal Network Editor のノード作成機能を使用して作成し，全体モデルを完成させる．

Step 3 キードライバーの選択

キードライバー選択の最初のステップとして，要因の影響度・不確定性評価を以下の手順で実行する．

1. 最初にノードの編集機能を用いて影響度計算の目的ノードに指定したい要因の“targeted”属性の値を yes に設定する．
2. 次に閉ループを強調表示した状態で，同一の閉ループ，あるいは同一の要因に入力

している複数の因果関係に相対的な重みを設定する．

3. 重みの設定後，図 5.4.8 のようにリンクの一覧表形式のフォームを起動して因果関係の伝達係数(“weight”属性の値)を設定する．伝達係数を設定すると，ツールが影響度(“impact”属性の値)を計算し，その結果を図 5.4.8 下部のノードの一覧表フォームに表示する．
4. 最後に設計者がこのフォーム上で要因の不確定性(“uncertainty”属性の値)を設定すると，フォーム上に影響度と不確定性の積が自動的に計算されて表示される．

以上の手順により実施した影響度・不確定性評価の結果を参考にして，設計者は要因の中からキードライバーを選択する．

Step 4 キードライバーの変化の設定

設計者はStoryline Editorを起動し，各キードライバーに変化を構想し，その結果をStoryline Editorに入力する．

Step 5 シナリオの構成の決定

Storyline Editor 上で，Step 4 で設定したキードライバーの変化を参照し，その組み合わせに基づいて適切な名前をサブシナリオに対してつける．図 5.5.1 のように Storyline Editor 内のストーリーライン入力フォームを起動し，その上でサブシナリオの名づけを行う．組み合わせに相当するサブシナリオを作成しない場合には，Storyline Editor 上でサブシナリオ名をつけなければ，Scenario Design Support System はそのサブシナリオを作成しないものと認識する．

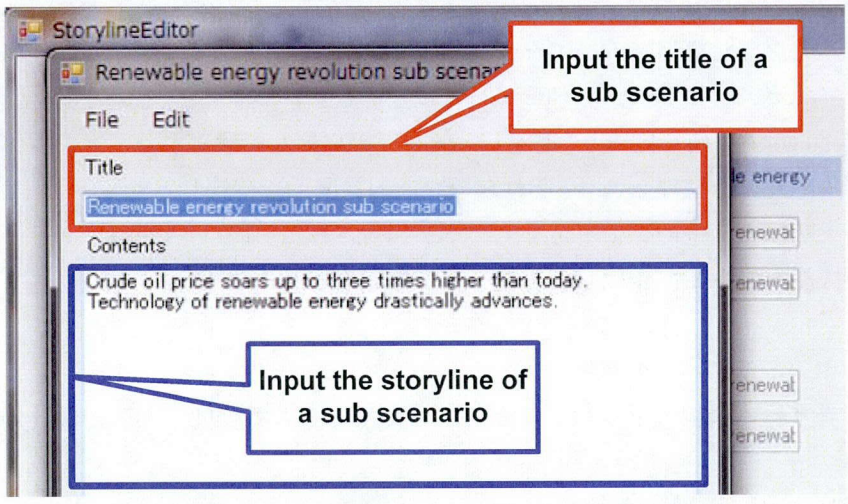

図 5.5.1 ストーリーライン入力フォームスクリーンショット

Step 6 ストーリーラインの記述

設計者は, 各サブシナリオ名前の決定時に Storyline Editor 上のストーリーライン入力フォームにストーリーラインを記述する．ストーリーライン入力フォームを閉じる際に，Storyline Editor はサブシナリオに対応する部分モデルを causalnetwork.xml 内に作成し，Casual Network Editor 上でサブシナリオに対応した部分モデルを構築できるようにする．

Phase 3 シナリオの記述

Step 7 部分モデルの構築

ストーリーラインの作成後，設計者は全体モデルに基づいて部分モデルを構築する．設計者はCausal Network Editorを再び起動してモデルの選択機能を用いて構築したいサブシナリオの部分モデルを選択し，全体モデル同様に要因を作成し，その間に因果関係を接続することで部分モデルを構築する．Causal Network Editor 上に部分モデルを表示した状態で，要因を作成する際に，全体モデルの要因一覧が表示されるので，その中から詳細化の元になる全体モデル内の要因を選択すると，Causal Network Editor が自動的に“detailed”リンクを作成する．

Step 8 サブシナリオの記述

各サブシナリオの部分モデルを構築した後にサブシナリオの記述を行う．Scenario Design Manager 上の“Structured Scenario”ボタンを押すと，Scenario Structural Description Support System と Causal Network Editor が起動する．

設計者が Scenario Structural Description Support System を起動すると，storyline.xml に記述された各サブシナリオの名前，ストーリーラインの情報を基にして，Scenario Structural Description Support System が Sceaniro Level の構造，すなわち，Problem Editor が作成したシナリオ全体を表す“Scenario”ノードに“consist_of”リンクで接続された，各サブシナリオを表す“scenario”ノードと，その基本構成を表す“scenario_component”を作成する．その際に，Expression Level の作成時に未分類のノードを入れておくためのコンポーネントとして“uncategorized”コンポーネントを追加で作成する(図 5.5.2 参照). 各サブシナリオのストーリーラインは，“transition path”コンポーネント下の“hypothesis”コンポーネント内に，“hypothesis”ノードとして自動生成される．以上の自動生成された Scenario Level の構造が Scenario Structural Description Support System の初期起動画面として表示される．

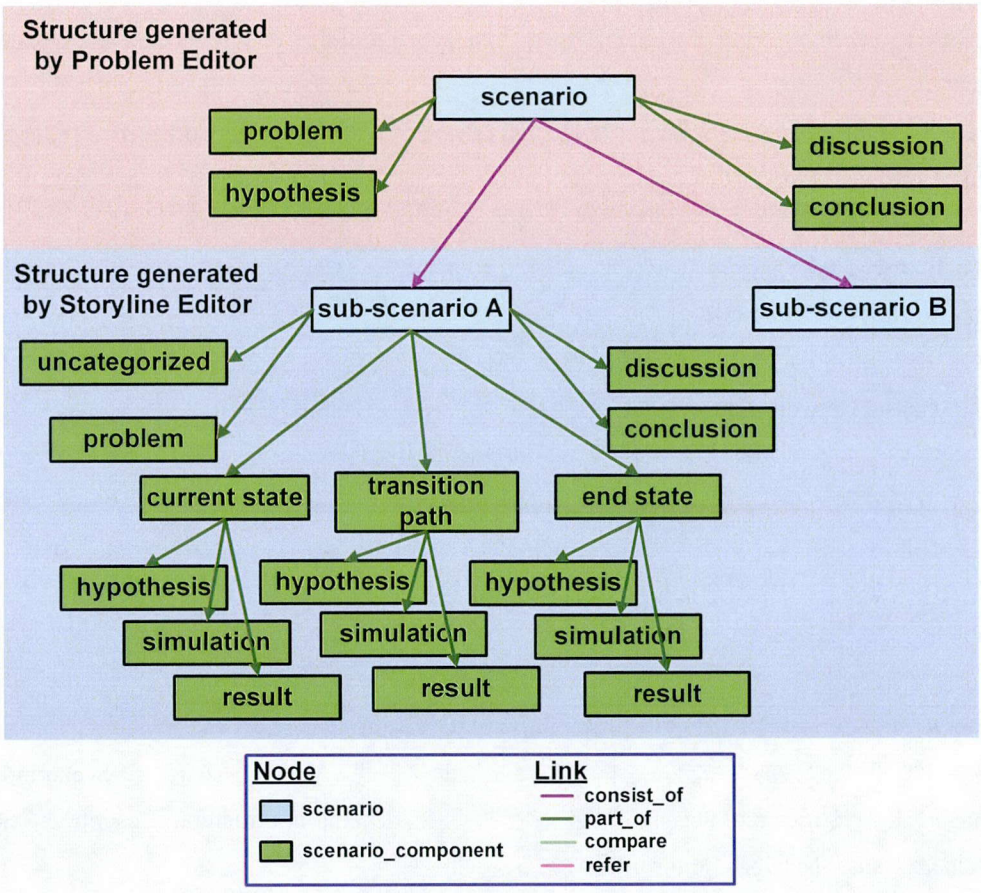

図 5.5.2 自動生成される Scenario Level の構造

各サブシナリオの詳細を記述するために，Scenario Structural Description Support System 上に表示されているサブシナリオに相当する“Scenario”ノードから，サブシナリオを選択して Expression/Data Level を表示する(図 5.5.3)．さらに，Causal Network Editor から，サブシナリオに相当する部分モデルを選択する．サブシナリオ記述の際の Expression Node の作成方法には，Causal Network Editor 経由の方法と，Scenario Strucural Description Support System 上で直接行うものの 2 種類がある．前者の方法では，図 5.5.4 のように Causal Network Editor 上の要因を選択してその変化を Expression Node に記述する．その場合には，新しく作成した Expression Node に向かって自動的に“deploy”リンクが作成される．また，“deploy”リンクは Causal Network Editor 側から自由に繋ぎかえることが可能である．後者の方法は，主にサブシナリオ内の記述を根拠づけるデータや文献など，部分モデルと直接関係のない記述を追加する際に行う．このように部分モデルから展開したノードとリンクを軸として参考文献など，それ以外の情報に関する記述を追加する形でサブシナリオを記述する．

サブシナリオの記述を行う際には，4.3.2 項で述べた“scenario_component”の part 属性を用いて，サブシナリオ内の時間的推移を明確化しながら記述する．Expression Node が属する

コンポーネントは，ノードの作成時に選択する．記述対象世界の現状については，“current state”コンポーネント下の“hypothesis”コンポーネントに，キードライバーの変化を始点とする記述対象世界の変化は“transition path”コンポーネント下の“hypothesis”コンポーネントに，“transition path”を経た記述対象世界の終端状態については，“end state”コンポーネント下の“hypothesis”コンポーネントに作成する．“current state”，“transition path”，“end state”のそれぞれにおいて，動的シナリオとしてシナリオを作成する場合には，3.3 節で述べた手順に則って“current state”，“transition path”，“end state”の各コンポーネント下の“simulation”コンポーネント内に Data Level のノードとリンクを挿入してシミュレーションを実行し，結果を“result”コンポーネント内に導出する．

各サブシナリオの“current state”，“transition path”，“end state”コンポーネント内の記述を作成した後に，サブシナリオの内容を分析し，設計者がサブシナリオの考察と結論をそれぞれ“discussion”，“conclusion”コンポーネントに記述する．

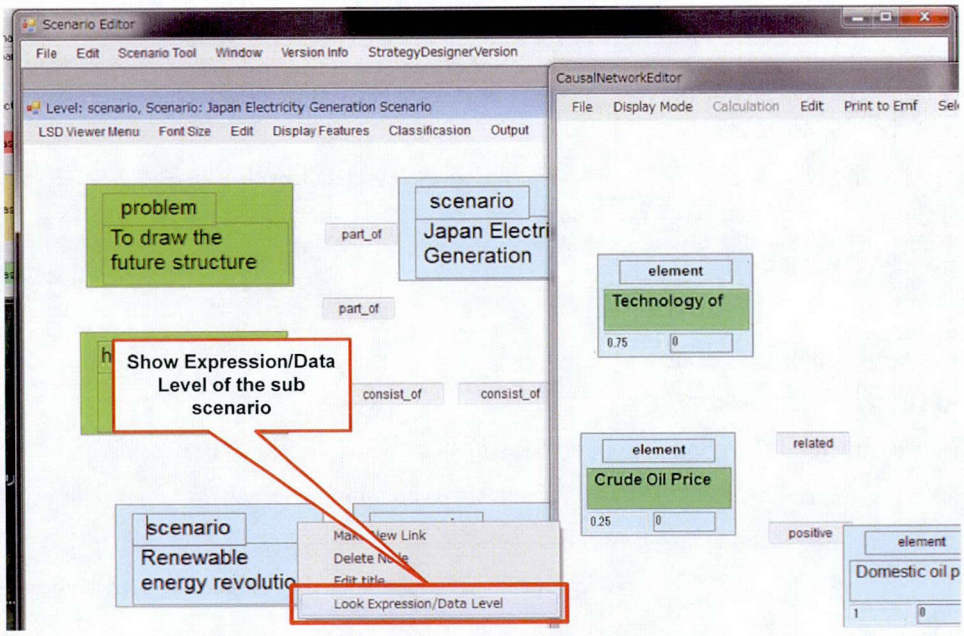

図 **5.5.3** サブシナリオの **Expression/Data Level** の表示

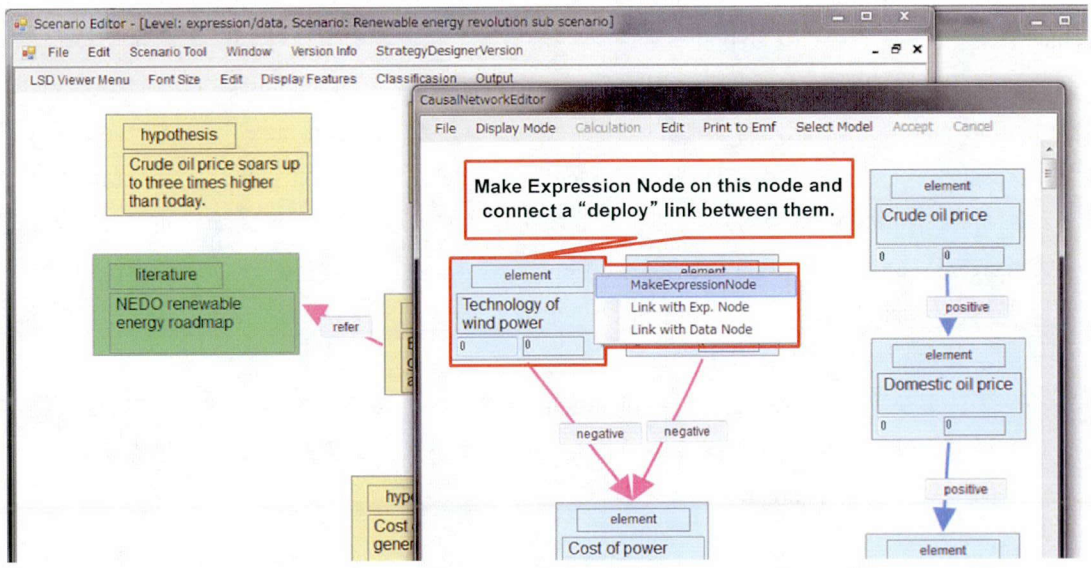

図 **5.5.4 Causal Network Editor からの Expression Node の作成**

Step 9 シナリオの結論付け

Phase 3 の最後に，構造化シナリオ全体の Expression/Data Level を開きその上で，各サブシナリオの結論からシナリオ全体の考察・結論を，シナリオ全体の"discussion"，"conclusion"コンポーネントに記述する．

Phase 4 シナリオ文書の記述

Step 10 シナリオ文書の記述

Scenario Structural Description Support System のテキストエディタ機能を起動し，文書形式で表示された構造化シナリオ内のセンテンス(=Expression Level のノード)を文章上で移動させ，センテンスの細部の文章上の表現，接続詞などを補って文書として読みやすくなるように整える．構造化シナリオの整形が終わったら，Sceanrio Structural Description Support System の文書出力機能を使ってシナリオ文書を出力する．

以上のようにして，本システムを用いてフォアキャスティング型でシナリオを設計する．実行例の詳細は第 7 章で述べる．

第6章 バックキャスティング型シナリオ設計支援方法論

第 6 章では，シナリオ設計支援手法のうち，目標とする将来像を設定し，その後にその将来像と現在を接続する形式であるバックキャスティング型でシナリオの設計を支援する方法論を提案する．本方法論では，第 4 章で提案したシナリオ設計プロセスの中の「シナリオの構想」，「シナリオの記述」に相当する設計操作を，対象世界上で起きる出来事とその間の因果関係を樹形図状に整理したロジックツリーを用いて支援するシナリオ作成技法を提案する．更に，提案したシナリオ作成技法を組み込んで具体的なバックキャスティング型シナリオ設計プロセスを定義する．提案した支援方法論を実装したシナリオの設計支援システムを開発し，それを用いた実際の設計プロセスについても述べる．

6.1 アプローチ

本方法論では,4.4.2 項で述べたように,図 4.4.1 に示すシナリオ設計プロセスの特に Phase 2, 3 をバックキャスティング型で支援するシナリオ作成技法を提案し，設計プロセスに組み込み，バックキャスティング型シナリオ設計プロセスを定義する．本節では本方法論のアプローチ，すなわちバックキャスティングの特性から，どのようなシナリオ作成技法を提案し，それに基づいてバックキャスティング型シナリオ設計プロセスをどのようなものとして定義するかについて論じる．

1. 因果的逆展開と順展開の組み合わせによるシナリオ設計

バックキャスティングはその定義より，目標とする将来の設定と，その将来の達成に必要な道筋の検討という 2 つの異なる作業からなる．これに対して本方法論では，結果から原因を探索する因果的逆展開と原因から結果を探索する因果的順展開を組み合わせてシナリオを構想，記述するとする．バックキャスティングで設定する目標とする将来は，現在から演繹的に導出できない可能性があり，持続可能社会シナリオで記述することを目的とする持続可能社会は，そういった将来像である可能性が高い．したがって，本手法では将来の目標を核として因果的逆展開することによって将来を構想するとする．逆に本方法論では目標達成の道筋は因果的順展開によって現在から演繹的に展開することにより，将来像の実現可能性の検討を行う．

2. ロジックツリーを用いたシナリオの構想支援

前述の通り，バックキャスティングで構想する将来，特に持続可能な将来は現在と大きく異なる可能性が高く，その背後にある記述対象世界の構造も現在と異なる可能性が考えられる．すなわち，バックキャスティング型シナリオ設計においてはフォアキャスティング型のように，対象世界の構造をモデル化し，その上で演繹的に将来を構想することはできないと考えられる．したがって本方法論では将来の構想を支援するために，目標とその達成に必要な行動，出来事，及びそれらの間の因果関係を樹形図として表現したロジックツリーを用いて因果的逆展開，順展開を支援する．ロジックツリーによる構想支援を行うためにシナリオの構想モデルのサブモデルに，ロジックツリーを追加する．

3. ロジックツリーを用いたシナリオの記述支援

本手法では，構想モデル内のロジックツリーと構造化シナリオの併用によってシナリオの記述を支援する技法を提案し，その技法に従って「Phase 2 ストーリーラインの記述」と「Phase 3 シナリオの記述」の具体的手順を定める．第一に，ロジックツリーの展開によって構想した目標達成への道筋に基づいてシナリオの構成決定を支援する．ロジックツリー内の個々の因果的道筋は，それぞれ異なる目標達成のパターンを表す．この目標達成のパターンに基づいてシナリオに含むサブシナリオを決定し，その結果を構造化シナリオの Scenario Level に展開する支援を行う．第二に，ロジックツリー上に展開された出来事，行動とその間の因果関係を構造化シナリオ内の Expression Level のノード，リンクに変換して

各サブシナリオの骨格とし，それを根拠づける記述や補足する記述を追加する，というシナリオの記述の設計操作を定義することで，各サブシナリオを論理的，整合的に記述する支援を行う．

6.2 バックキャスティング型シナリオ設計支援のためのシナリオのモデル化

6.2.1 モデルの全体像

本研究では，バックキャスティング型のシナリオ設計支援のために，図 4.3.1 のシナリオモデルの構想に，以下の(a)，(b)の 2 つの要素を追加することで，図 6.2.1 のようなモデルを設定し，バックキャスティング型シナリオプロセスにおける設計操作の対象とする．

(a) ロジックツリー：シナリオに描く記述対象世界の将来において，達成したい将来の状態を表す「目標」と，その達成に必要な，記述対象世界上で起きる出来事，メインアクターが取る行動を因果関係で接続した樹形図を表す．

(b) ロジックツリーのサブツリー：サブシナリオを作成するためにロジックツリーから抽出してくるもので，対応するサブシナリオの軸となる出来事やメインアクターの行動の連鎖．

バックキャスティング型シナリオのモデルにおいて，問題，ロジックツリーはシナリオ全体に関わる要素として，サブシナリオ間で共通の要素として考える．したがって，バックキャスティング型シナリオモデルにおいてサブシナリオに含まれる要因は,「サブシナリオに対応するサブツリー」,「サブシナリオのストーリーライン」,「構造化シナリオのサブシナリオ相当部分(=サブシナリオに相当する“scenario”ノードとそれに付随する“scenario_component”ノード及び,各コンポーネントに含まれる Expression Level のノードとリンク)」,「シナリオ文書中の，サブシナリオに相当する記述」を含むものとする．

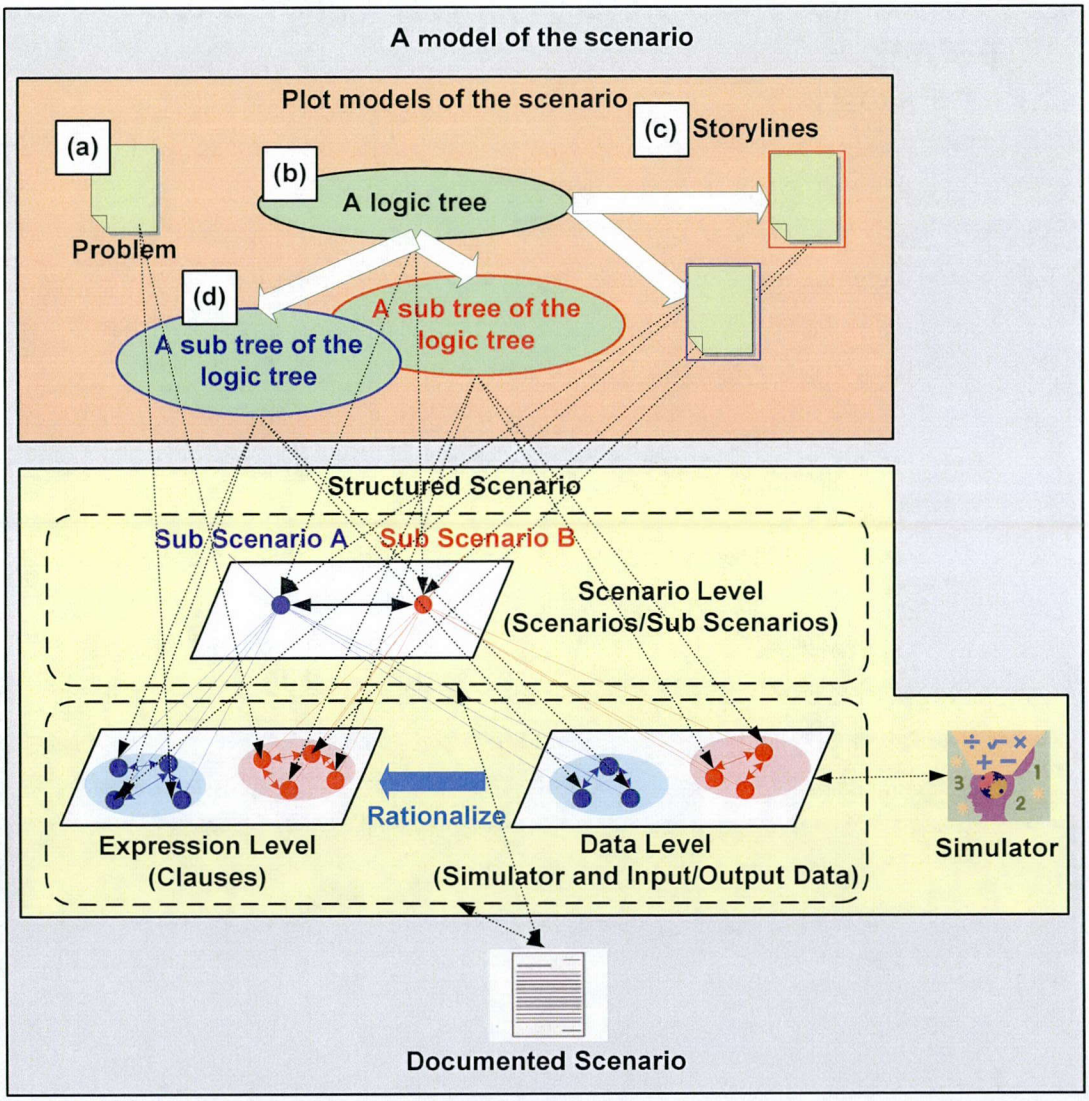

図 6.2.1 バックキャスティング型シナリオのモデル

6.2.2　ロジックツリー

ロジックツリーは一般的に，物事を論理的に分析・検討する際に，その論理展開を樹形図で表現したものである．結果—原因，目的—手段，全体—部分といった論理的な推論により分析・検討を行う際に，その対象に関連した概念，事象間の論理的なつながりをツリー状に図示することで，その物事に関連した概念，事象間の相互関係が明確に把握できる[63].

本研究では，前述の通り，シナリオに描く記述対象世界の将来において，達成したい将来の状態を表す「目標」と，その達成に必要な，記述対象世界上で起きる出来事，メインアクターが取る行動を因果関係で接続した樹形図を表す．本手法におけるロジックツリーを構成するノードは，目標，目標達成に必要な出来事，条件，行動など，あるいはそれら

の設定根拠を表し，リンクはそれらの間の様々な関係を表すものとする．ノードとリンクの定義を表 6.2.1 と表 6.2.2 に示す．

本手法においてロジックツリーを構成するノードには，ロジックツリー本体を構成するノードと，ノードの設定根拠に相当するノードの 2 種類を定義する．前者には，目標を表すノード“target”と，それ以外の出来事，条件，行動を表す“event”，“basic event”，“undeveloped event”の合計 4 種類を，後者には設定根拠を表す“rationale”ノードを定義する．ロジックツリーにおいて，これ以上展開する必要がない末端ノードを他のノードと区別するために，FTA(Fault Tree Analysis)[64]におけるノードの定義を参照して末端ではないノードを表す“event”ノードと，末端ノードを表す“basic event”，“undeveloped event”に区別する．

他方，ロジックツリーのリンクは 4 種類定義する．あるノードに相当する出来事，条件，行動が発生するためにその原因となっているノードが同時に発生する必要があるのか，あるいはどれか 1 つでも発生すれば良いのかを明示的には表現するために，FTA に用いられる論理演算記号を参照して因果関係に AND，OR の区別を設定する．更に，ノード同士が同時に起きない，という関係を“asynchronous “リンクによって表現する．また，ロジックツリーの各ノードの展開根拠を明示するために，“support”リンクによって，“rationale”ノードとロジックツリーを構成するノードを接続する．

表 6.2.1 ロジックツリーのノードの分類

タイプ	定義
target	The condition that the designer want to achieve in the future envisioned in the scenario. It is correspond to the “target” in the problem.
event	An event, condition, or action required to achieve the target.
basic event	An “event” which cannot unfolded anymore. Namely, a basic event is a terminal of the logic tree.
undeveloped event	An “event” which cannot be unfolded currently, because of lack of information or needs. Namely, an undeveloped event is a terminal of the logic tree.
rationale	A rationale why an event, condition, or action is unfolded in the logic tree.

表 6.2.2 ロジックツリーのリンクの分類

タイプ	定義
AND (*A*, *B*)	A node *B* is causally derived from a node *A*. The upper node *A* occurs when all lower nodes (node *B*) occurs.
OR (*A*, *B*)	A node *B* is causally derived from a node *A*. The upper node *A* occurs when all lower nodes *B* occurs.
asynchronous (*A*, *B*)	A node *A* and a node *B* do not occur simultaneously.
support (*A*, *B*)	A node *A* is a rationale of a node *B*.

さらに，ロジックツリーを用いたシナリオの構想と記述を支援するために，ノードとリンクに対して分類以外の属性を追加する．ノードの属性については表 6.2.3，リンクの属性については表 6.2.4 に示す．

ノードに対しては，ロジックツリーの構築の際に目標達成の必要条件を網羅的に構想することができるように，ノードのカテゴリー(例：政策，消費者行動，自然現象など)を表す“category”属性を定義する．“category”属性の値は設計者自身で定義し，ロジックツリーを構成する各ノードに定義した値を設定する．設計者は定義したカテゴリーに属する出来事，行動，条件を網羅できるようにノードを作成する．また，“key”，“controrable”属性は，それぞれノードが目標達成の仕方を決定づけるノードであるか否か，シナリオのメインアクターがそのノードに相当する出来事，行動，条件を操作可能であるか否かを表す．この 2 つの属性によって，ロジックツリーに基づいてシナリオの構成を決定する作業の支援を行う．

リンクに対しては，因果関係を表すリンクで接続された 2 つのノードの発生に時間差があるか否かを“timelag”属性で表現する．これにより，ロジックツリー内のノードを時間的に切り分け，将来像と移行過程を分割する．

表 6.2.3 ノードの属性

属性名	定義
key	The node is an key event or not. It has value “yes” or “not.”
controllable	Event, action, or condition indicated by a node is controllable or not by the main actor of the scenario.
category	The category of the node, such as “consumer behavior,” “policy action,” or “natural phenomenon.” The values of “category” is defined by the designers.

表 6.2.4 リンクの属性

属性名	定義
timelag	The causal relation has time lag between the two connected nodes. It has value “yes” or “not.”

6.2.3　ロジックツリーと構造化シナリオを関係づけるリンク

本手法ではシナリオの構想において展開したロジックツリーに基づいて，構造化シナリオを記述する支援を行う．この設計操作において発生するロジックツリーと構造化シナリオ間の導出関係を明示的に表現するために，5.2.3 項で提案した“deploy(*A*,*B*)”リンクを用いて，ロジックツリー内のノード *A* から，構造化シナリオ内の Expression Level のノード *B* が導出されていることを表現する．

6.2.4　バックキャスティングシナリオのサブシナリオ構造

本研究では，4.3.2 項で拡張した構造的記述法の Scenario Level 上で，バックキャスティングシナリオのサブシナリオを図 6.2.2 のように表現する．すなわち，サブシナリオは問題設定である“problem”を始点とし，目標とする将来の状態を“targeted future vision”に描く．次に現状“current state”から移行過程“transition path”を経過して終端状態“end state”までが順方向に展開され．最後に，“targeted future vision”と“end state”を比較，分析することで将来像が達成されたかどうかを“discussion”で議論し，最後にサブシナリオの結論が“conclusion”に記述される．

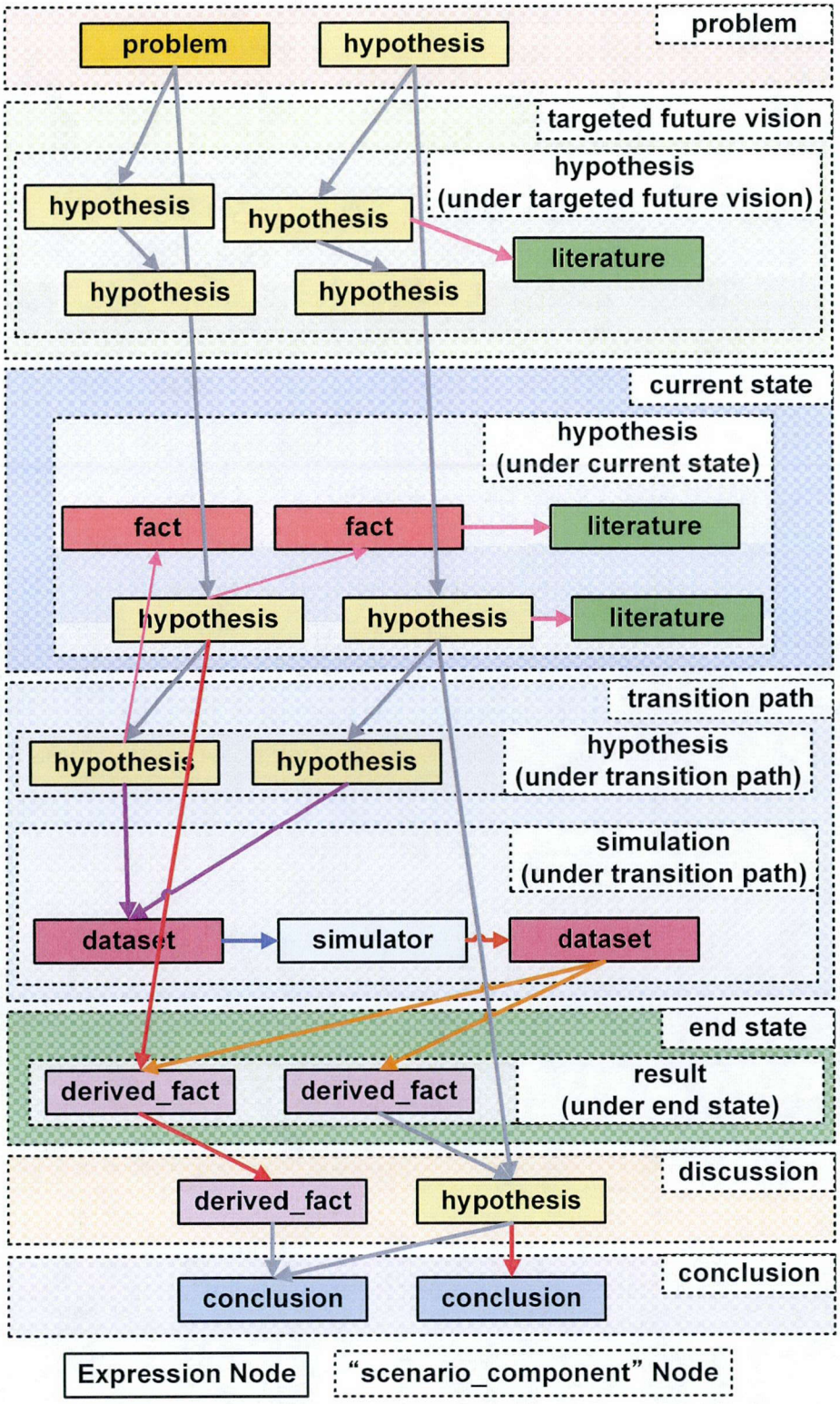

図 6.2.2 バックキャスティングシナリオのサブシナリオの基本構造

6.3 バックキャスティング型シナリオ設計プロセス

6.3.1 設計プロセスの全体像

本手法で提案するバックキャスティング型シナリオ設計プロセスを図 6.3.1 に示す. Phase 1 の問題設定において，シナリオ設計者はシナリオ全体に関係する背景やシナリオの作成目的などを設定する．また，シナリオ内でバックキャスト的に構想，記述する将来像の始点となるシナリオの目標も Phase 1 で決定する．次に Phase 2 において，設計者は目標から因果的逆展開を行ってロジックツリーを構築し，構築したロジックツリーからキーイベントを決定してサブツリーを抽出することにより，シナリオの構成と各サブシナリオのストーリーラインを記述する．最後に Phase 3 において，ストーリーラインを参考にしつつ，対応するサブツリーから各サブシナリオを展開し，最後にシナリオの結論を導出する．以上 3 つのフェイズにより，シナリオを段階的に設計する．

以降では，吹田市という市が自身の将来のビジョンとそのための行動計画を策定するために，シナリオをバックキャスティング型で設計する場合を例として挙げて各ステップについて述べる．

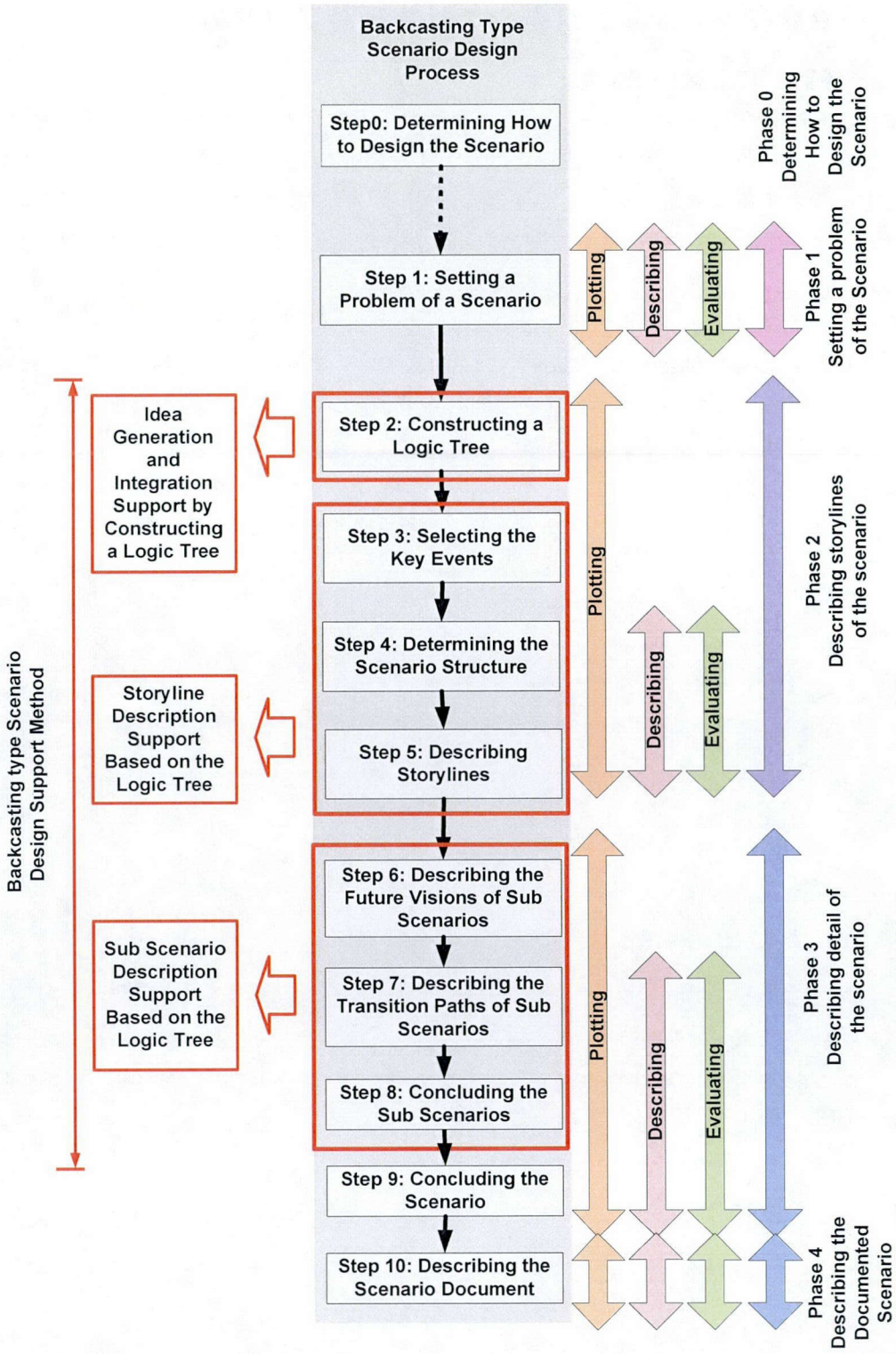

図 6.3.1 バックキャスティング型シナリオ設計プロセス

6.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1 シナリオの問題設定

シナリオ設計の最初のステップにおいて，シナリオ設計者はシナリオの問題設定を行う．このステップで設計者は，データ収集や分析ブレーンストーミングを通じて，シナリオの初期課題を達成するためにこのシナリオ設計においてどのようなシナリオを作るかを構想し．その結果を表 4.3.2 の各項目に整理する．これにより，設計者は Phase 2，Phase 3 で考えるべき項目を明確化する．例えばここでは，「吹田市将来ビジョンシナリオ」というタイトルを設定し，メインアクターとして「吹田市」を，シナリオ内で達成したい目標として，「吹田市民の幸福を増進する.」を設定する．

6.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述

Phase 2 で設計者は設計しているシナリオがどのような将来について書いた，どのようなサブシナリオから構成されるかを決定する．Phase 2 は Step 2 から Step 5 の 4 ステップを通じて，目標からの因果的逆展開によってロジックツリーを構築し，構築したロジックツリーに基づいてシナリオの構成を決定し，各サブシナリオのストーリーラインを記述する．

Step 2 ロジックツリーの構築

Step 2 で設計者は，シナリオにおいて目標とする将来像と移行過程を構想するために，Phase 1 で設定した目標の達成の必要条件をロジックツリーに展開する．ロジックツリーの展開は以下の手順で実行する．

(1) 目標を頂点の“target”ノードとして，ブレーンストーミングやデータ，資料の収集，分析を行って目標達成に必要な出来事，条件，行動を列挙してロジックツリーの“event”ノードとする．更に“target”ノードと“event”ノードの間に因果関係リンクを接続する．

(2) 列挙した“event”ノードのうち，シナリオ内でこれ以上検討しないとする状態，行動，条件に相当するものを選択し，それらは“undeveloped event”ノードとする．また，展開できないノードは“basic event”ノードにする．

(3) (1), (2)の結果，“event”ノードとした出来事，条件，行動の原因，あるいは達成の条件となるものを更に列挙し，それらを因果関係リンクで接続する．

以降(2)と(3)を繰り返すことによってロジックツリーを構築し，因果的な逆展開によって将来像，移行過程を構想する．“event”ノードの導出，“undeveloped event”への切り替えに，問題設定に記述したシナリオの前提が影響与えている，あるいはそれらに理由がある場合には，“rationale”ノードに記述し，該当するノードと“support”リンクで接続する．

構築したロジックツリーの例を図 6.3.2 に示す．この例においては，目標である「吹田市民の幸福を増進する.」からその実現のために必要な事柄として，「豊富な社会福祉サービスを提供する.」，「豊富な行政サービスを提供する.」，「治安を高める.」，「雇用が生み出さ

れている.」を挙げ，それらの間に“logically OR リンク”を接続している．更に，このシナリオにおいては「豊富な行政サービスを提供する.」についてはこれ以上深掘りしないこととし，このノードを“undevloped event”とした．列挙した“event”ノードの原因となる事柄を更に列挙することで因果的な逆展開を行い，ロジックツリーを構築している．その中で「(a)吹田市は既存の企業を誘致する.」はこれ以上展開できないために“basic event”に，「(b)産学連携で新しいビジネスを生み出す.」を発想した理由として現在の吹田市に大学が存在しているという事実があるため，「(c)吹田市には 4 つの大学がある.」を“rationale”ノードとして追加し，(c)から(b)に“support”リンクを接続している．

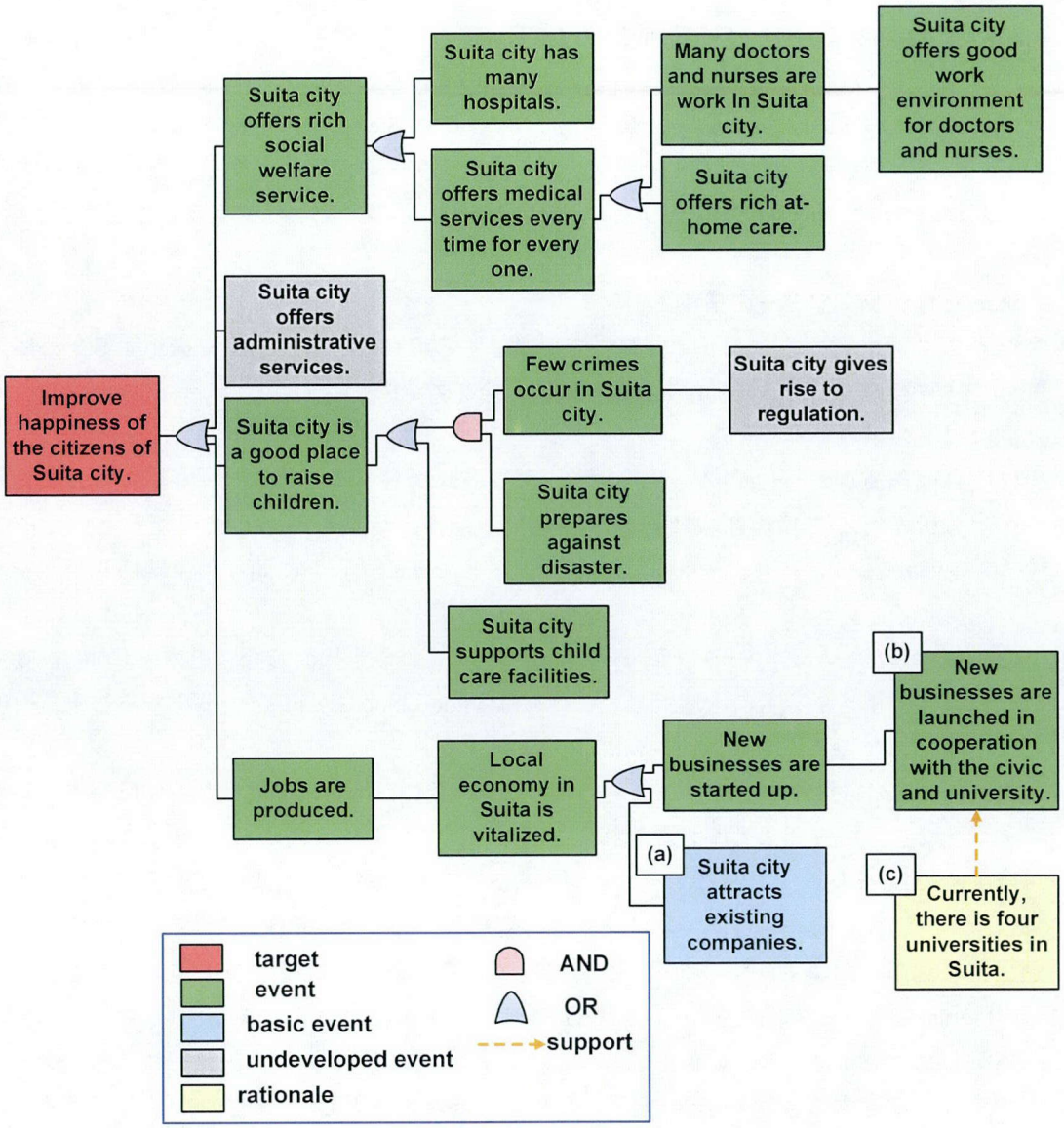

図 **6.3.2** ロジックツリーの例

Step 3 キーイベントの選択

ロジックツリーの構築の後に，キーイベントの選択を行う．これは，Step 3 のシナリオの構成決定の予備段階として行うものである．キーイベントの定義は「目標がどのように達成されるかを決定づけるノード」であり，各サブシナリオの中心となるコンセプトである．このステップにおいて有効な手段となるのはブレーンストーミングであり，Step 1 で設定したシナリオの設計目的などを参照しつつ，ロジックツリーのノード内からキーイベントを選択する．

図 6.3.3 では，「(A)雇用が生み出されている．」と「(B)吹田市は子どもを育てやすい場所となっている．」そして「(C)吹田市が社会福祉を充実させる．」の 3 つの“event”ノードをキーイベントとして選択している．

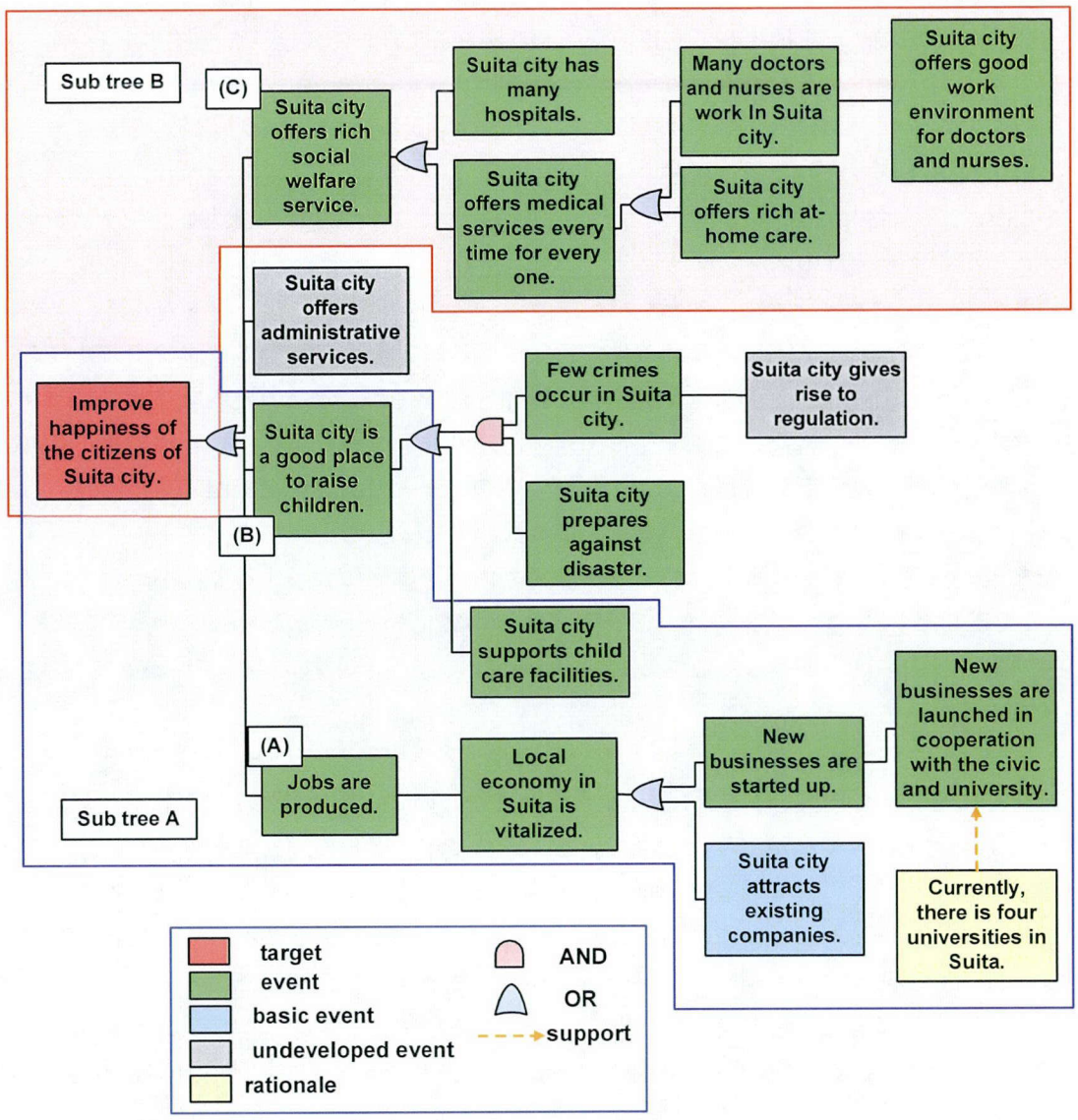

図 **6.3.3** キーイベントの選択とサブツリーの抽出

Step 4 シナリオ構成の決定

このステップで設計者は Step 3 で選択したキーイベントに基づいて，シナリオの構成，すなわち，シナリオに含まれるサブシナリオの数とそれがどのようなサブシナリオであるかを決定する．

このステップでは，複数選択したキーイベントに基づいて，ロジックツリーの中からサブツリーを抽出する．サブツリーの抽出はキーイベントの上位ノードと下位ノードをたどることによって行う．その際に，因果関係リンクが“AND”である場合には，下位にある全てのノードはサブツリーに自動的に含まれるが，“OR”の場合には，設計者自身で下位ノードをサブツリーに含めるか否かを決定する．また，抽出したサブツリー内に含まれるノードの根拠となる“rationale”ノードもサブツリーに含める．ここでは，複数のキーイベントから 1 つのサブツリーを抽出しても良い．例えば図 6.3.3 においては，キーイベント(A)，(B)の 2 つのキーイベントを組み合わせることで，サブツリーA を抽出している．

Step 5 ストーリーラインの記述

Phase 2 の最後に，抽出したサブツリーに基づいてサブシナリオを構成し，各サブシナリオの概要をそれぞれのストーリーラインに記述する．

このステップで設計者は，抽出したサブツリーの中から任意にノードを選択し，ノードによって表現されている出来事，条件，行動を関連付けながら，そのサブシナリオにおいてどのような出来事がどのように連鎖して目標を達成されるのかの概要を，サブシナリオのストーリーラインに記述する．ここで，ストーリーラインに記述すべき出来事，条件，行動を選択する理由としては，サブツリーの中のノードの内容を全て記述した場合にはサブシナリオの主要部分にならない要素が多くなってしまうことがある．ストーリーラインを記述した後にこれを参照し，サブシナリオの内容を端的に表現する名前をつける．最後に，記述したサブシナリオのストーリーラインの内容を Expression Level のノードに記述し，サブツリー内のノードから対応する Expression Level のノードに向かって“deploy”リンクを接続する．

図 6.3.3 のロジックツリーとサブツリーを例にとると，サブツリーA に含まれるノードを選択してそれらの内容を関連付け，「産学連携で新しいビジネスが生み出されており，地域経済が活性化されて職が生み出されている．同時に市が保育施設を支援するため，吹田市は子どもを育てやすい場所となっている．」とサブシナリオのストーリーラインを記述する．記述したストーリーラインを参照しつつ，このサブシナリオの名前を「若者世代の町吹田シナリオ」と設定する．最後に，ロジックツリーに基づいて記述したストーリーライン内の記述「市が保育施設を支援するため，吹田市は子どもを育てやすい場所になっている．」が，2 つの“hypothesis”ノードとその間の“logical_jump”リンクとして記述されている(図 6.3.4 参照)．

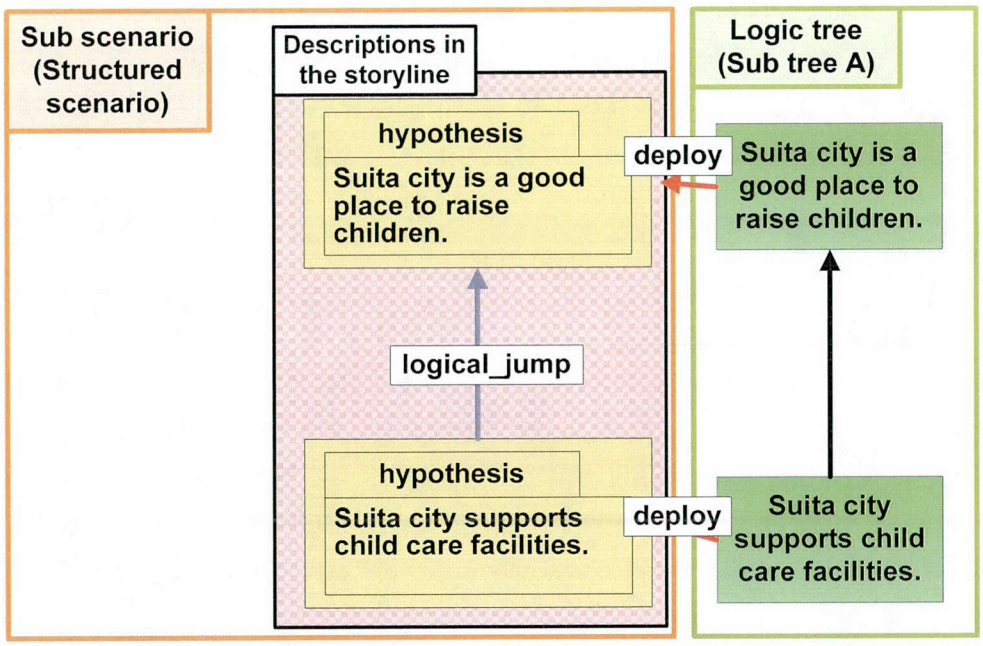

図 6.3.4 ロジックツリーからのストーリーラインの展開の例

6.3.4　Phase 3 シナリオの詳細の記述

シナリオ設計の最後のフェイズとして，シナリオの詳細を記述する．このフェイズにおいて，まず設計者は，Phase 2 の最後に抽出したサブシナリオに対応するサブツリーに基づいて，各サブシナリオを記述する．記述の順番は各サブシナリオの将来像，移行過程，そしてサブシナリオの結論である．移行過程の記述は現状から因果的順方向で記述する．各サブシナリオを結論付けた後に，その結論同士を比較してシナリオ全体の結論を導出する．

Step 6 サブシナリオの将来像の記述

(1) ロジックツリーへの時間差の設定

各サブシナリオの将来像を記述する際の予備的操作として，Phase 2 で展開したロジックツリーに時間的な情報を追加する．すなわち，ロジックツリー内のノードに相当する出来事，条件，行動がシナリオで描く将来像“targeted future vision”，現状“current state”，移行過程“transition path”，最終状態“end state”のどれに属するのかを決めるために，リンクで結ばれた 2 つのノードの発生に，時間差があるかどうかを設定する．この設計操作は，ロジックツリー内のリンクに対して，“timelag”属性の値を設定することによって行う．

(2) 将来像の記述

サブシナリオに対応するサブツリーとストーリーラインから，サブシナリオで達成したい将来像の詳細を，構造化シナリオの“targeted future vision”に記述する．Step 6 の(1)におい

てサブツリー内のリンクに時間差が設定されているので，それに基づいてサブツリー内のノードのうち，記述終了年付近に発生すると想定するものを選択し，それらから構造化シナリオ内の Expression Level ノードを展開，詳細化する(ロジックツリー内のノードから詳細化，展開された Expression Level ノードには“deploy”リンクを接続する)．それに加えて，ロジックツリーから展開したノードとリンクに書かれた情報を補足，あるいは根拠づける情報(参考文献など)を追加する．

例として，図 6.3.4 で記述したストーリーラインの記述を軸に，「若者世代の町吹田シナリオ」の将来像の詳細を記述している例を図 6.3.5 に示す．最初に，サブツリーA の中から，「吹田市は子育てがしやすい場所になっている．」を記述終了年付近の状態であるとして切り出す．ストーリーラインにおいて「(a)吹田市は子どもを育てやすい場所になっている．」の根拠として，「(b)吹田市内の幼稚園の数は十分である．」を追加し，「(c)子どものいる家族が吹田市に引っ越してくる．」という状態についての記述を追加する．更に，「(d)吹田市の教育サービスについてのデータ」を“literature”ノードとして追加し，参照することで，(b)を根拠づけている．

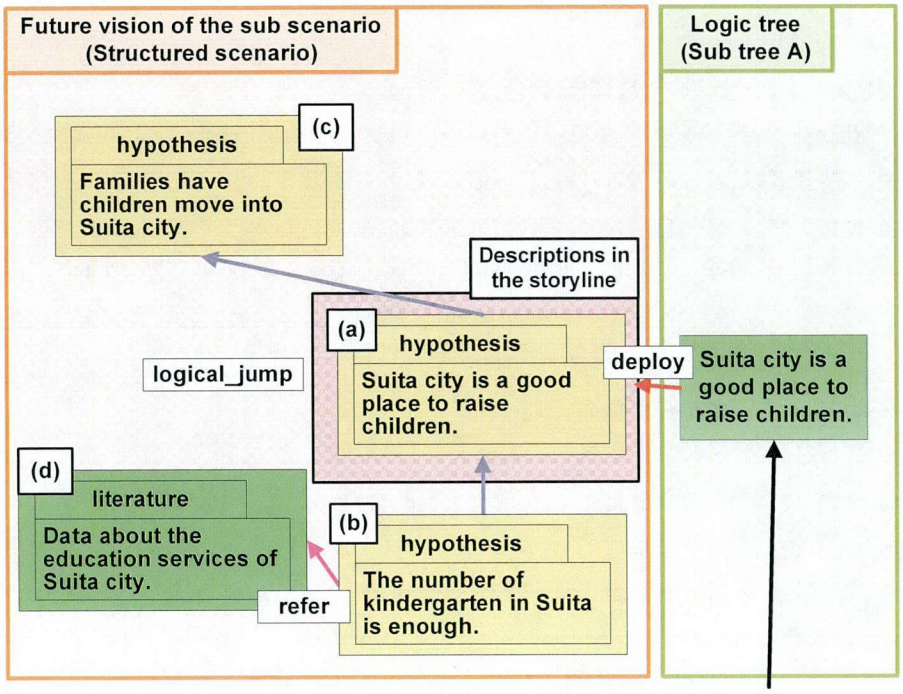

図 6.3.5 サブシナリオ(将来像)の記述例

Step 7 サブシナリオの移行過程の記述

バックキャスティング型シナリオ設計において，サブシナリオの移行過程は，最初に記述した目標とする将来像“targeted future vision”と終端状態“end state”を比較することで将来

像の達成のために必要な事項を決定するために記述する．ここではまず，“targeted future vision”で記述した事項の現状について調査などを行い，現状を“current state”に記述する．その後に，“targeted future vision”と“current state”を比較・分析して，その間を埋めるために必要となる条件を，対応するサブツリーとストーリーラインをガイドラインとして，“transition path”に記述する．その結果としてたどり着いた最終的な状態を“end state”に記述する．

図 6.3.6 に示す例では，“targeted future vision”において保育施設について記述したことから保育施設の現状について調査を行い，“current state”コンポーネントに「(a)2010 年現在，吹田市の保育施設は少ない」という事実を“fact”ノードとして記述する．次に，“transition path”に対して，ロジックツリー内の「吹田市が保育施設を支援する.」というノードから，「(b)吹田市は私立の保育施設に補助金を出す.」という仮説を展開し，そこから「(c)保育施設の数が増加する.」という仮説を論理的飛躍により導出する．(b)と(c)間のこの導出関係は“logical_jump”リンクで表現する．最後に，移行過程を経た終端状態を“end state”に記述する．この例では，保育所が増えたことによって「(d)小さい子どもがいる家庭の多くは共働きである.」という仮説を導き，そこから，「(e)鍵っ子の数が増える.」という，“targeted future vision”で想定されていなかった副作用を導出している．

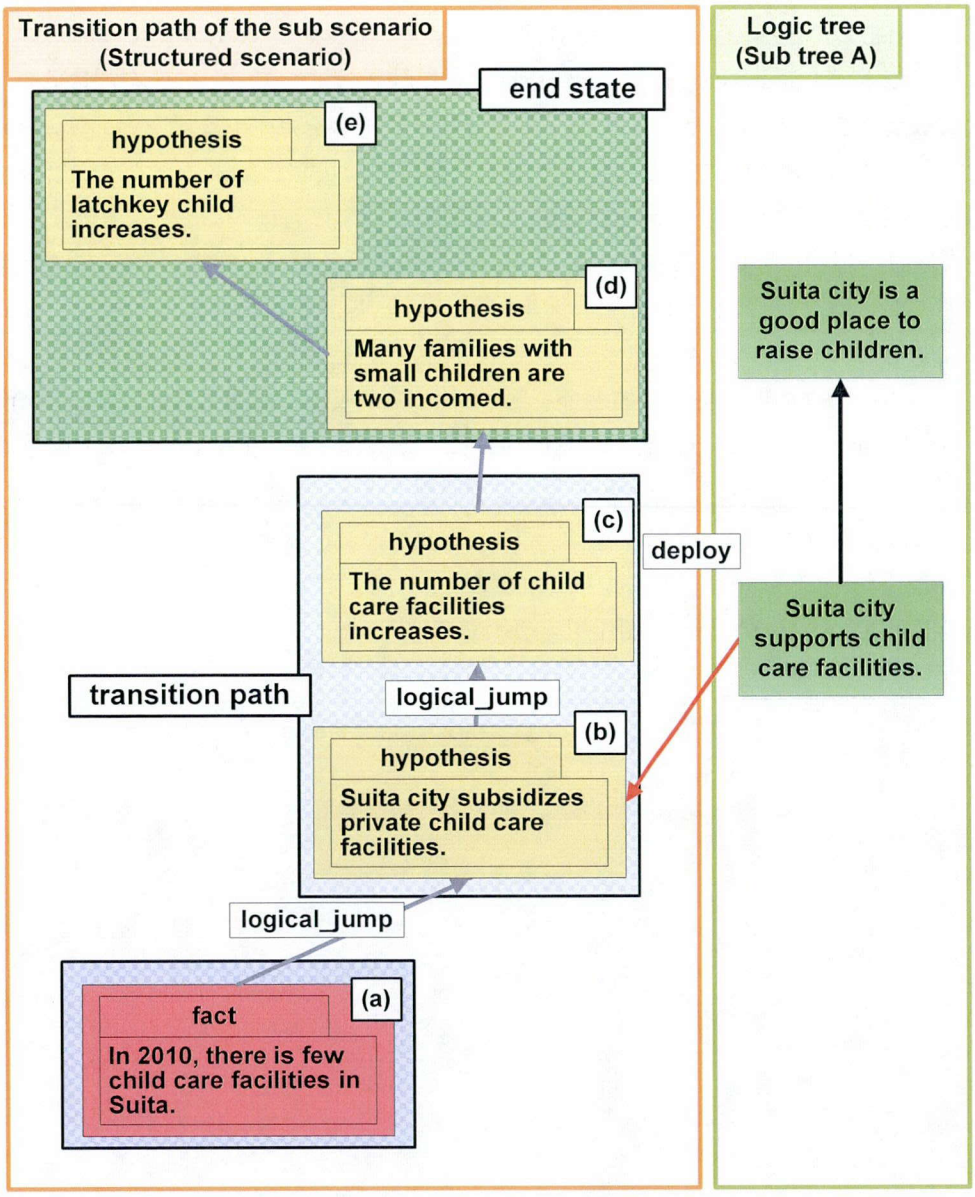

図 6.3.6 サブシナリオ(移行過程)の記述例

Step 8 サブシナリオの結論付け

Step 6, 7 の手順で各サブシナリオの将来像と移行過程を記述し，最後に各サブシナリオの結論を導出する．このステップは“targeted future vision”と“end state”の比較・分析によって目標の達成可能性を評価し，その評価を“discussion”に記述し，サブシナリオの結論を各サブシナリオの“conclusion”コンポーネント内に記述する．

図 6.3.7 の例では，“end state”で導出した「鍵っ子が増加する．」という仮説から，“discussion”に，「吹田市では家族の形態が変化するかもしれない」という考察を記述する．

最後に，この考察を参考にして，サブシナリオの結論を導出する．

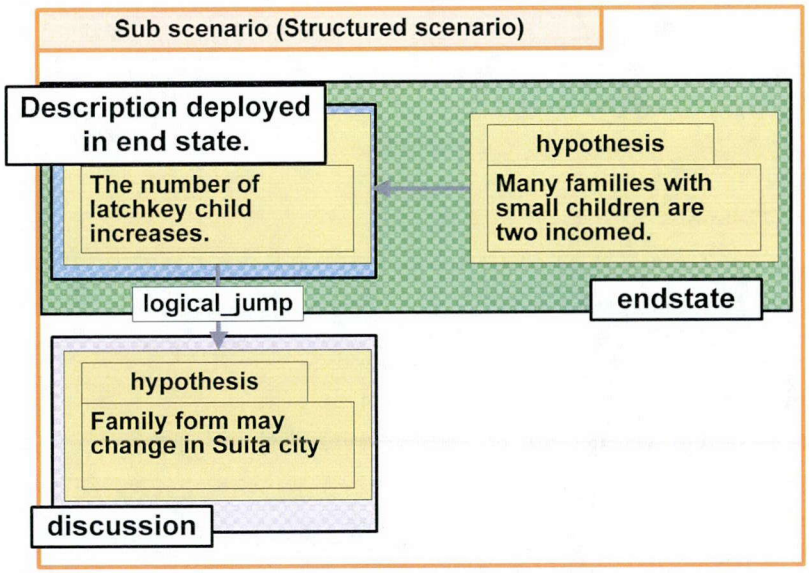

図 6.3.7 サブシナリオのまとめ作業の例

Step 9 シナリオの結論付け

シナリオ設計の最後のステップとして，Step 8 で記述した各サブシナリオの結論同士を比較し，問題設定と照らし合わせながらシナリオ全体の結論を出す．

6.3.5　Phase 4 シナリオ文書の記述

Step 10: シナリオ文書の記述

Phase 3 の結果として，シナリオの詳細を記した構造化シナリオが得られる．Phase 3 は論理構造図上で行われているため，その結果である構造化シナリオは文章としては必ずしも読みやすいものとはならない．そこで，このステップにおいて文章として読みやすいように Expression Level のノードとして表現される個別の節の文章上の順序を入れ替え，適宜接続詞などを補って設計解であるシナリオ文書を記述する．最後に，構造化シナリオから構造化情報を抜き去り，シナリオ文書を出力する．

6.4 バックキャスティング型シナリオ設計支援システム

本節では，6.3 節で提案した設計プロセスを計算機上で実行し，6.2 節で述べたシナリオモデルを操作するための設計支援環境として開発したバックキャスティング型シナリオ設計支援システムについて述べる．

6.4.1 システム構成

本項では，バックキャスティング型シナリオ設計支援システムの全体像について述べる．

このシステムは 3S Simulator の一部として，Microsoft 社の Windows OS 上に Visual C#[56] を用いて実装する．このシステムのアーキテクチャーは図 6.4.1 のようになり，以下の 4 つのツールから構成される．

1. Scenario Design Manager (BC type)：システム全体の管理を行うツール．他の各ツールはこのツールから起動し，シナリオ設計の進捗状況を管理する．また，各ツールで操作するシナリオモデルの各要素間で整合性の管理も行う．
2. Problem Editor：シナリオの問題設定を実行するために用いるツール．
3. Logic Tree Editor：ロジックツリーの操作を行い，シナリオの構成を決定するツール．ストーリーラインの記述もこのツール上で実行する．
4. Scenario Structural Description Support System：サブシナリオの詳細を構造化シナリオとして記述するためのツール．3.6 節で述べた物を外部から呼びだして使用する．

以降，6.4.2 項においてシナリオモデルのシステム上での実装を，6.4.3 項から 6.4.6 項において各ツールの概要について述べる．

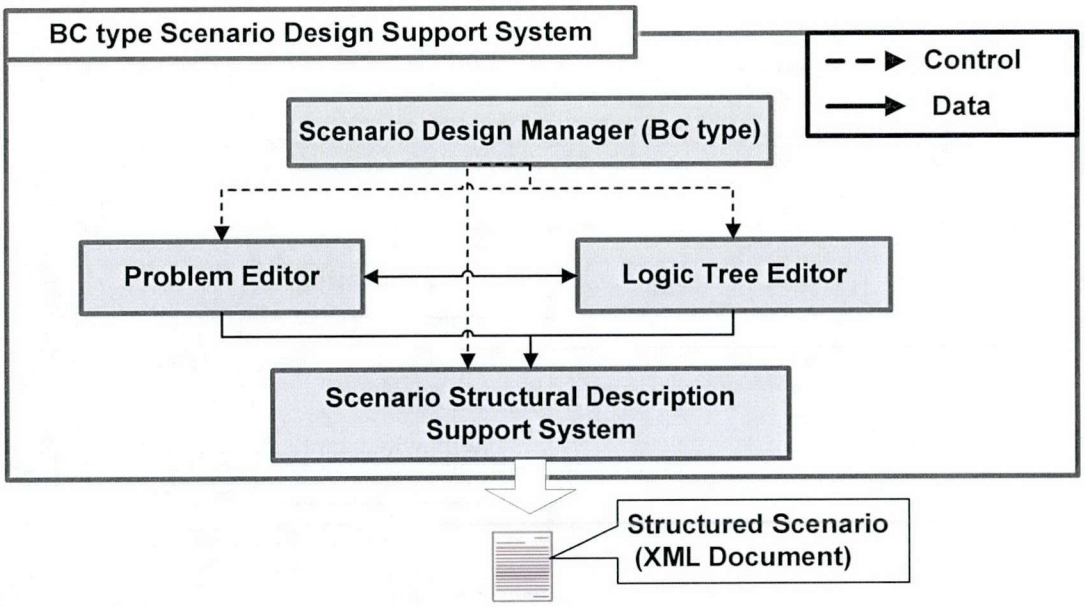

図 6.4.1 バックキャスティング型シナリオ設計支援システムの構成

6.4.2 データ構造

このシステムでは，3S Simulator の他のツールと同様に，6.2 節で述べたバックキャスティング型シナリオのモデルを，モデルの各構成要素に対応する XML ファイル[55]と，それらを集約して格納した Windows システム上のフォルダとして計算機上で図 6.4.2 のように表現する．フォアキャスティング型シナリオモデルと同様に，シナリオ名をつけられた最上位のフォルダの元に，シナリオ内に含まれる画像データを保存した image フォルダとモデルの各要素を格納した xml ファイルを集約した xml フォルダを置く．xml フォルダ内の各 XML ファイルは以下の通りである．

- configurations.xml：シナリオ設計の進捗状況を管理するためのデータ．Scenario Design Manager (BC type)で操作する．
- problem.xml：シナリオの問題を保存した XML ファイル．Problem Editor を用いて構想，記述されたデータを保存する．
- deploylinks.xml：シナリオモデル内の要素と構造化シナリオの Expression Level のノードを関連付ける“deploy”リンクを格納する．Scenario Design Manager 及び Logic Tree Editor で操作する．
- logictree.xml：ロジックツリーを保存した XML ファイル．Logic Tree Editor 上から操作する．
- storyline.xml：シナリオの構成と，各サブシナリオの名前，ストーリーラインを保存した XML ファイル．Logic Tree Editor で操作をする．
- ScenarioName.xml：構造化シナリオファイル．

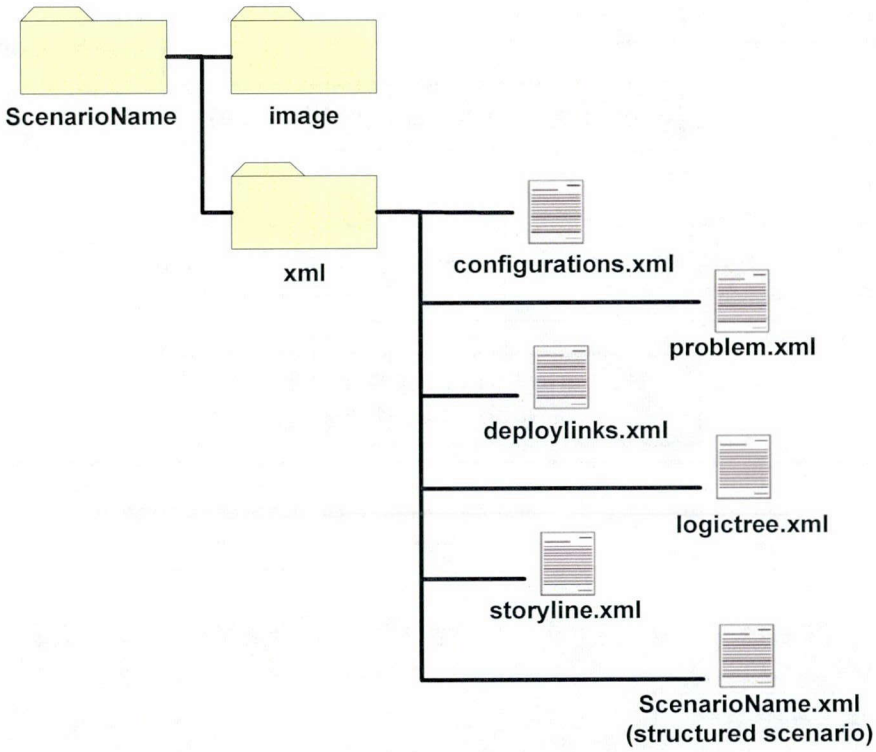

図 **6.4.2** バックキャスティング型シナリオモデルの実装(フォルダ構成)

6.4.3　Scenario Design Manager (BC type)

Scenario Design Manager (BC type)は，バックキャスティング型シナリオ設計支援システムを起動した際に最初に表示されるツールであり，設計支援システム全体の管理ツールである．このツールの画面は図 6.4.3 のようになり，以下の機能を持つ．

1. 設計するシナリオの選択(新規設計の開始，設計途中で中断したシナリオの選択)
2. 設計途中のシナリオの保存
3. シナリオ設計の進捗状況の管理
4. 各サブモジュールの起動，管理(同一ツールの二重起動の禁止，ツール間でのデータの整合性管理)

すなわち，設計者はこのツールを起動し，シナリオのデータを格納したフォルダを選択することでシナリオのデータを読み込む．設計の進捗状況は，各ツールの起動ボタンが有効化されるかどうかによって管理され，初心者であってもプロセスに従ってシナリオの設計を行うことができる．進捗状況は configurations.xml に保存する．設計者はこのツール上のボタンを押してシナリオモデルの各要素を操作するツールを起動する．各ツールでの編集を終えてツールを閉じる際に，Scenario Design Manager はシナリオモデル内の要素間で整合性管理を行う．

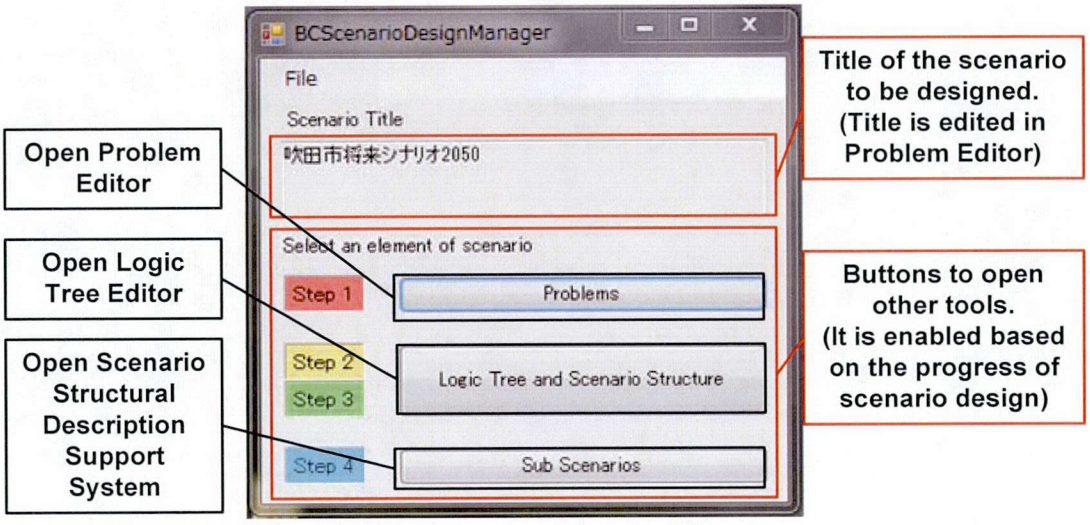

図 6.4.3 BC type Scenario Design Manager のスクリーンショット

6.4.4 Problem Editor

Problem Editor は Phase 1 の問題設定を実行するためのツールであり，図 6.4.4 のようなインターフェースを持つ．設計者はブレーンストーミングなどによって構想したシナリオの問題の各要素を，各テキストボックスに入力する．

このツールに書かれた内容は，Scenario Design Manager の整合性管理機能を利用して，Logic Tree Editor と Scenario Structural Description Support System に対して反映される．

Logic Tree Editor へは，問題設定のうちシナリオの目標と目標の設定根拠，シナリオにおける前提の記述内容を logictree.xml に記述する．シナリオの目標はロジックツリーにおいて“target”ノードに変換され，ロジックツリーの始点ノードとなる．また，目標の設定根拠と前提は“rationale”ノードに変換される．目標の設定根拠から変換された“rationale”ノードは，“support”リンクによって“target”ノードに自動接続される．

Scenario Structural Description Support System に対しては，問題設定の内容に基づく構造化シナリオの基本要素の生成を行う．このツールに入力された内容は，画面右上の「構造化シナリオに反映」ボタンを押した際に，このシナリオの全体を表す“scenario”ノード(title の内容を名前として持つ“scenario”ノード)と“problem”コンポーネントノードを作成し，“objective”, “background”に書かれている内容を Expression Level の“problem”ノードを作成して構造化シナリオ内に記述する．

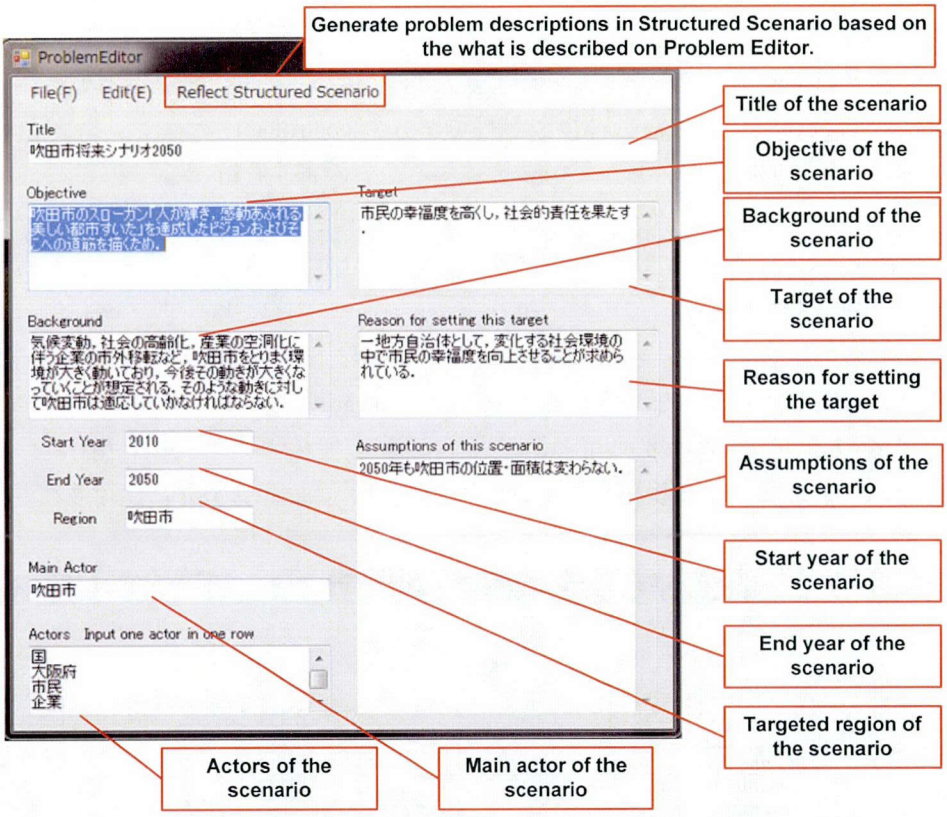

図 **6.4.4 Problem Editor** のスクリーンショット

6.4.5　Logic Tree Editor

Logic Tree Editor は，設計プロセスの Phase 2 (Step 2~5)を実行するツールであり，ロジックツリーを有向グラフとして視覚的に表現し，設計者に対してその操作機能(ノード，リンクの作成，編集，消去，キーイベントの選択/解除)を提供する．その機能は Step 2, 3 を実行する Logic Tree Editor モードと，Step4, 5 を実行する Scenario Structure Editor モードに分けて実装する．以下においてもこの 2 つの分類に基づいて述べる．

Logic Tree Editor モード

Logic Tree Editor は最初，Logic Tree Editor モードとして起動される．このモードのスクリーンショットは図 6.4.5 のようになる．ロジックツリーの操作機能以外に，このモードの機能としては以下の物がある．

1. Problem Editor で設定した問題の項目から“target”ノードと“rationale”ノードを生成する機能
2. キーイベントの選択を支援する機能

1 の機能は 6.4.4 節で述べた通り，Scenario Design Manager の整合性管理機能を利用して実現する．

2 の機能においては，ロジックツリー内のノードに属性を設定することによってロジックツリーを様々な角度から分析することにより，キードライバーの選択を支援する．設定できる属性は“controllable”，“category”の 2 属性である．“controllable”はロジックツリーにおいて内部要因と外部要因を分けるための属性である．この属性を用いることによって，メインアクターが操作できる事柄かそうでないかを明示的に表すことができる．“category”は，ロジックツリーでどのような分野，方向性のことについて記述したかを表示するための属性である．分野を複数表示して比較・組み合わせを行うことによって，キーイベントに設定したいものを検討する．これらの属性によって表示を変えることで，キーイベントを設定するための参考にすることができる．例として“category”をロジックツリー上で表示したものを図 6.4.6 に示す．

Logic Tree Editor モードで操作したロジックツリーは，logictree.xml に保存される．

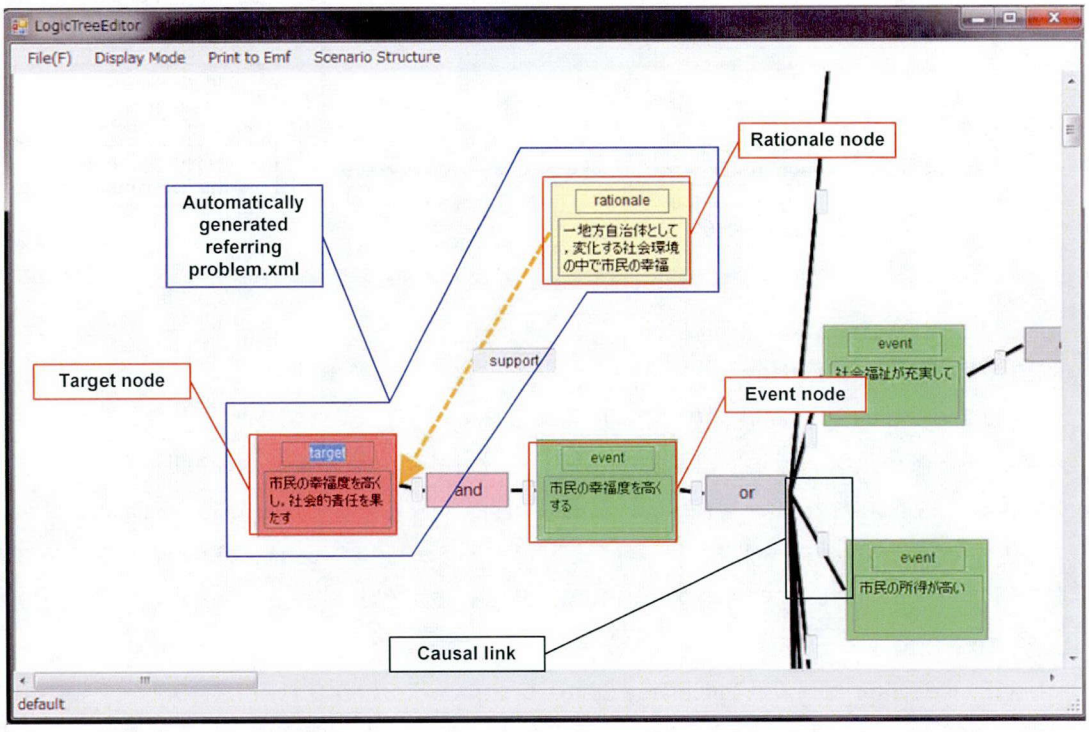

図 6.4.5 Logic Tree Editor (Logic Tree Editor モード)のスクリーンショット

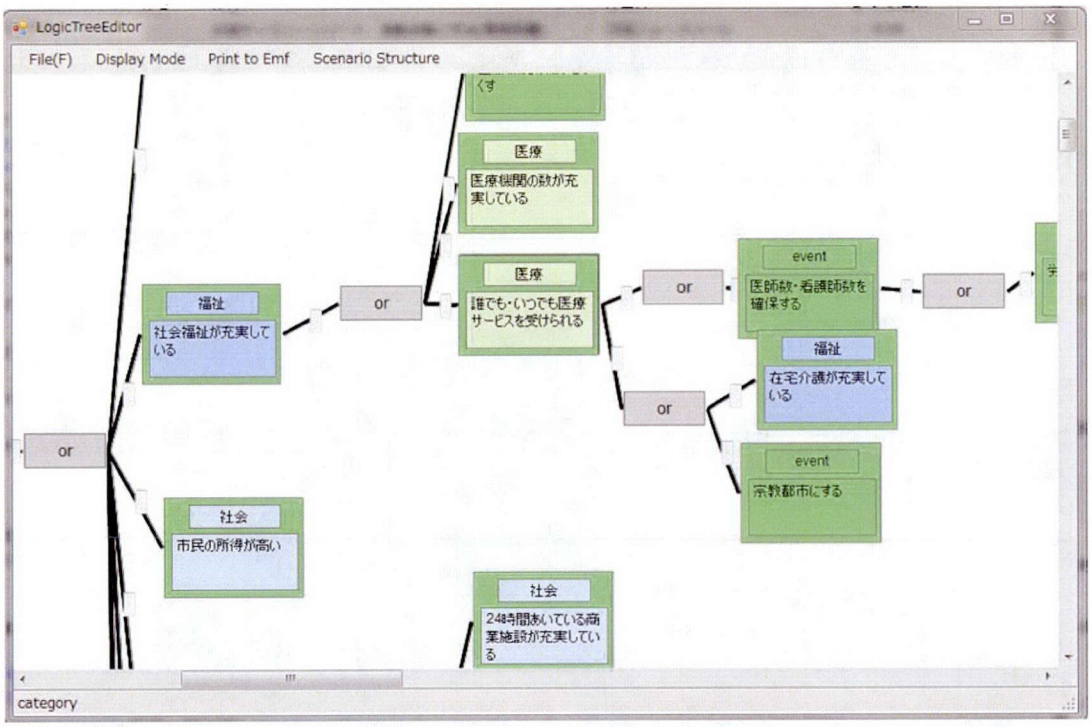

図 6.4.6 Logic Tree Editor 上におけるカテゴリー表示

Scenario Structure Editor モード

Scenario Structure Editor モードでは，Logic Tree Editor モードで選択したキーイベントに基づいてロジックツリーからサブツリーを抽出し，サブシナリオの名前，ストーリーラインを設定する．Scenario Structure Editor モードを起動すると，図 6.4.7 下部にあるようなサブシナリオの名前，対応するキーイベント，ストーリーラインが一覧になった画面が起動し，図中(a)のように，そこに作成したサブシナリオが表示される．設計者が上部の Logic Tree Editor 上で(b)のようにサブシナリオを選択すると，サブシナリオに対応するサブツリーが(c)のようにハイライトされて表示される．キーイベントを含めて，サブツリーに属するノードを，(d)のように取捨選択することができる．以上のようにこのモードで決定するシナリオ構成，サブシナリオは，storyline.xml に保存される．

Scenario Structure Editor モードの Logic Tree Editor は，決定したシナリオの構成に基づいて，構造化シナリオ内に Scenario Level の構造を図 6.4.8 のように自動生成する．この処理は，Scenario Design Manager の整合性管理機能を利用して実行される．

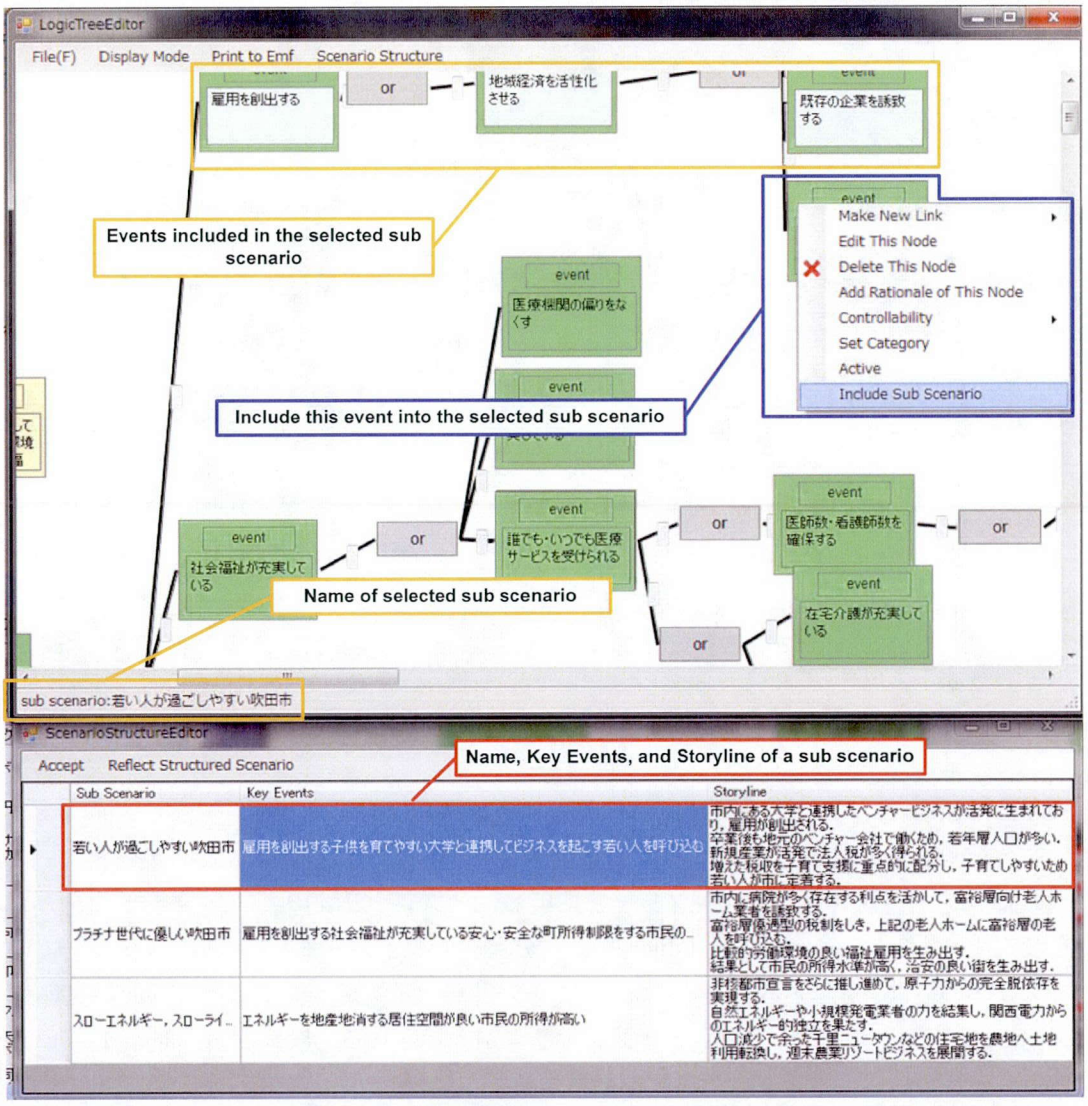

図 6.4.7 Logic Tree Editor(Scenario Structure Editor モード)

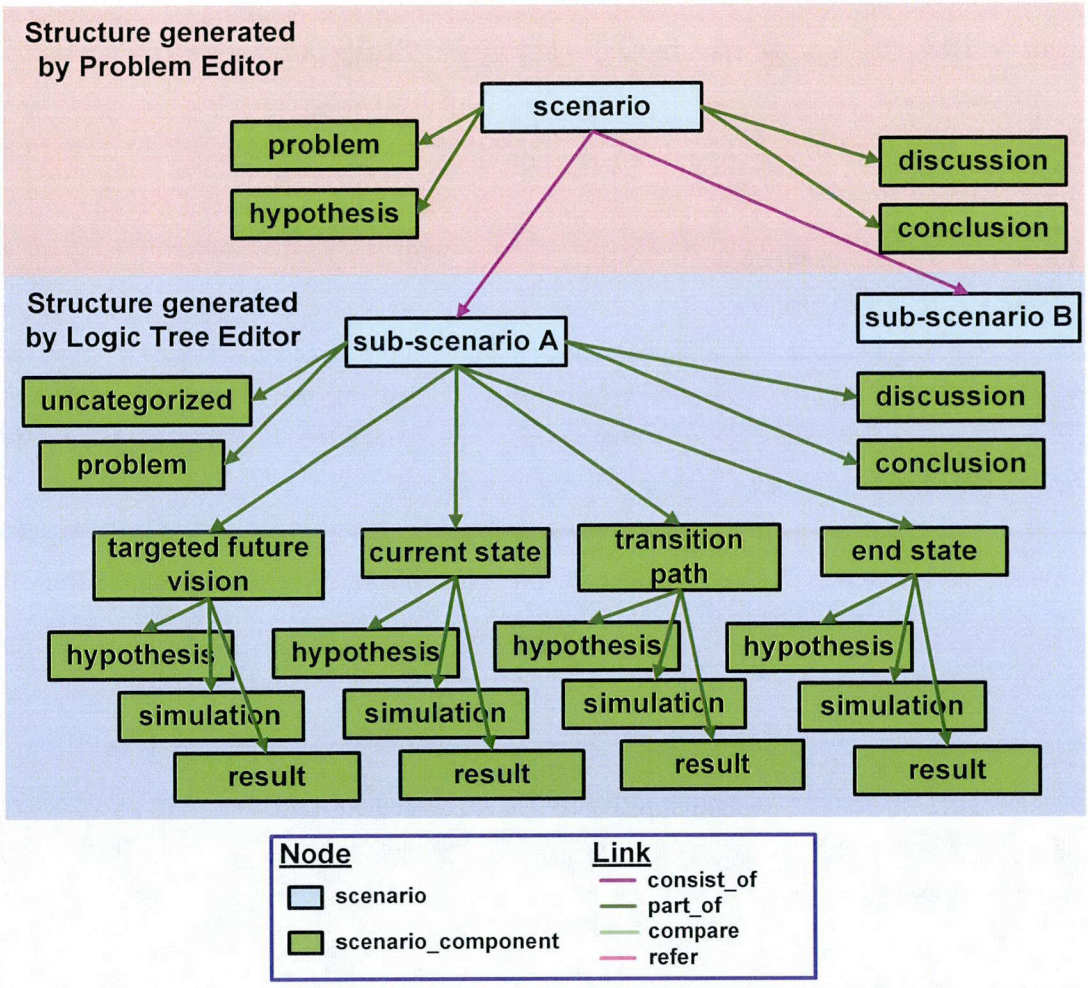

図 6.4.8 自動生成される Scenario Level の構造

6.4.6　Scenario Structural Description Support System

フォアキャスティング型シナリオ設計支援システム同様，構造化シナリオの記述には先行研究で開発されたシナリオ構造記述支援システムを用いる．6.5 節で述べるように，Logic Tree Editor と連携して用いることによって，ロジックツリーを使ったシナリオの記述支援を実行する．

6.5 支援システムを用いたシナリオ設計プロセス

本節では，6.4 節で述べたシナリオ設計支援システムを用いて 6.3 節で挙げた設計プロセスをいかに実行するかを述べる．

Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1 シナリオの問題設定

システムを用いてシナリオを新規設計する際には，ユーザが Scenario Design Manager (BC type)を起動する．最初に，ツール上でシナリオフォルダの保存先とシナリオ名を指定してシナリオファイルを生成する．これ以降，手順が 1 つ終わる度に設計管理ツールの各ツールを呼び出すボタン(図 6.4.3 参照)を押して次の手順に進む．

次にユーザはブレーンストーミングやデータの調査などを行い，シナリオの問題を構想し，その結果を整理して Problem Editor に入力する．問題設定の項目(表 4.3.2 参照)を全て決定した後，“Reflect Structured Scenario”機能を起動して，システムが問題設定の内容をロジックツリーと構造化シナリオに書き込む．ここで設定するシナリオの問題はサブシナリオ間で共通なので，サブシナリオではなくシナリオ全体の“problem”，“hypothesis”コンポーネントに記述される．

問題設定が終了したら Problem Editor を終了する．設計途中で既に設定されている問題設定を修正した際には，Scenario Design Manager が問題設定とロジックツリー，構造化シナリオ間で整合性管理を行う．

Phase 2 シナリオのストーリーラインの記述

Step 2 ロジックツリーの構築

Logic Tree Editor を起動すると，Problem Editor が Step 1 の問題設定で記述した目標，目標の設定根拠，前提がロジックツリーに反映され Logic Tree Editor 上に表示されている．ユーザは表示されている目標=“target”ノードから，その目標の達成に必要な状態，行動，条件をブレーンストーミングなどによって構想し，展開していくことによってロジックツリーを構築する．

ロジックツリーがある程度構築されたら，キーイベントの選択を支援するために，必要に応じて“controllable”，“category”という属性の値をノードに設定し，ロジックツリーを異なる角度から分析する．

Step 3 キーイベントの選択

Step 2 の分析の結果を参照して，ユーザはサブシナリオで描きたい将来の目標達成の方向性を大きく決定づける出来事，状態，行動がどれであるかを判断し，それをキーイベントとして選択する．Logic Tree Editor 上で任意の数の“event”ノードの key 属性の値を設定する

ことでキーイベントを任意の数選択し，選択した複数のキーイベントの組に，サブシナリオ名を仮設定する．サブシナリオの数だけ同様の作業を繰り返し，サブシナリオの核となるキーイベントの組を複数設定する．

Step 4 シナリオ構成の決定

キーイベントの組を設定した後に，ユーザはLogic Tree EditorをScenario Structure Editorに切り替える．このモード上でキーイベントの組を選択すると，Logic Tree Editorがキーイベントに基づいてロジックツリー内からサブツリーを自動的に抽出し，Logic Tree Editor上にハイライト表示する(図 6.4.7 参照)．この状態でユーザは選択したサブシナリオに含むノードと含まないノードを分別することで，サブシナリオに対応するサブツリーを確定する．以上の作業により，シナリオの構成を決定する．

Step 5 ストーリーラインの記述

Step 4で確定されたサブツリーの情報が図 6.4.7 下部のように一覧表示されるので，このウインドウ内に各サブシナリオのストーリーラインを記述し，Step 3で仮決定したサブシナリオ名を，ストーリーラインを参照して確定する．

Step 5 までの作業により確定したシナリオ構成と，各サブシナリオのストーリーライン，対応するサブツリーを基に，Logic Tree EditorはScenario Design Managerの整合性管理機能を使ってScenario Level，Expression Levelの構造を自動生成し，構造化シナリオに書き込む．その際，ストーリーラインとサブツリーの内容は，“targeted future vision”，“transition path”のどれに含まれるか分からないため，“uncategorized”という未分類を表す“scenario_component”内に含まれるExpression Levelノードに自動記述される．サブツリーと自動生成されたExpression Levelノードの間には，システムが“deploy”リンクを自動的に接続する．

Phase 3 シナリオの詳細の記述

Step 6 サブシナリオの将来像の記述

Scenario Structural Description Support Systemを起動すると，図 6.5.1 のようにProblem Editor，Logic Tree Editorによって自動生成されたScenario Levelが表示される．ユーザはサブシナリオを表す“scenario”ノードから，そのサブシナリオのExpression/Data Levelを選択して表示する．

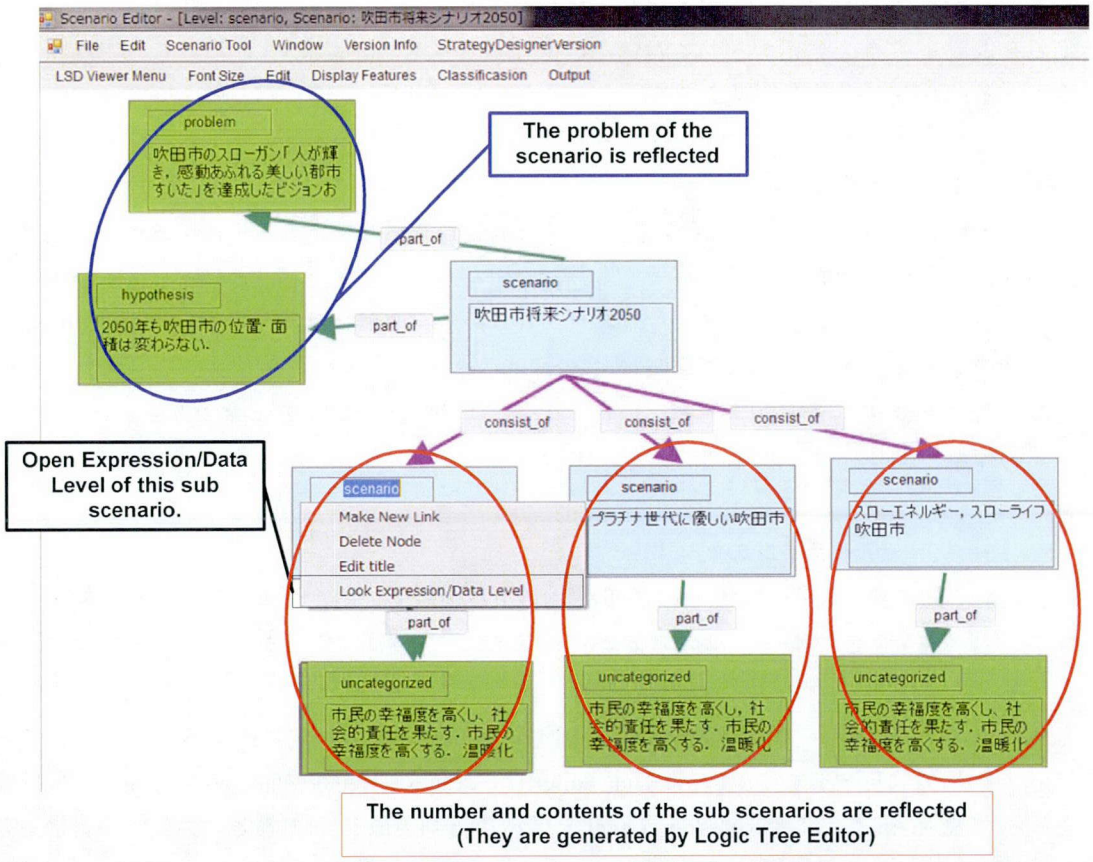

図 **6.5.1** シナリオ設計支援システムの起動初期画面

すでに書き込まれた問題設定とシナリオ全体構成の内容から，まずサブシナリオの“targeted future vision”を記述する．サブシナリオに含まれるサブツリーおよびストーリーラインの内容は“targeted future vision”だけでなく“transition path”も含むものなので，ユーザは Logic Tree Editor 上でロジックツリー内のリンクに“timelag”属性を設定してロジックツリー内のノードが“targeted future vision”と“transition path”のどこに属するのかを整理する．その後，ロジックツリーの中で“targeted future vision”に属すノードの内容を図 6.5.2 のように展開・詳細化し，その根拠などを Scenario Structural Description System 上で補うことで“targeted future vision”を記述する．

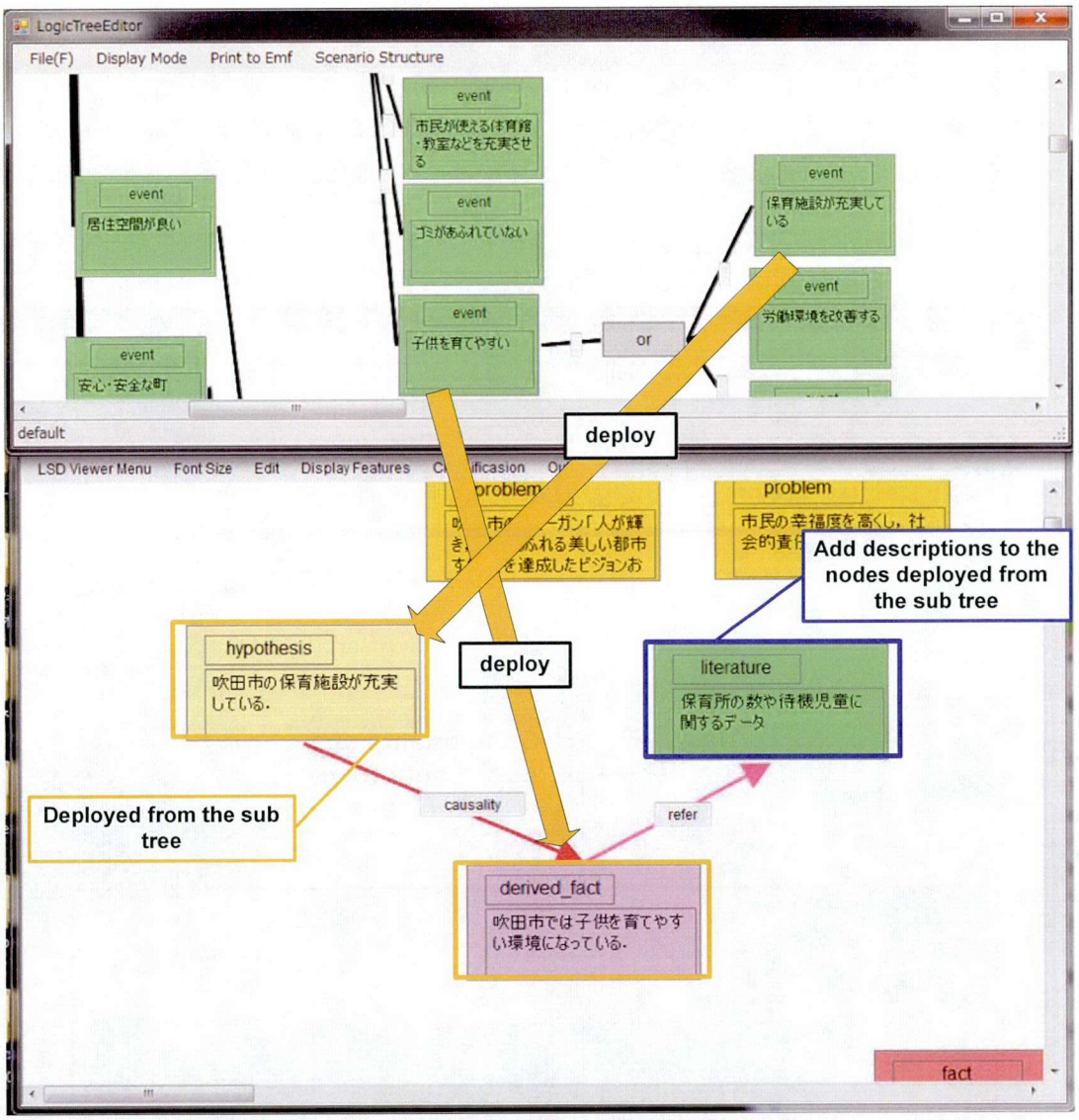

図 6.5.2 ロジックツリーから構造化シナリオの展開

Step 7 サブシナリオの移行過程の記述

次に，“targeted future vision”で将来のあるべき状態を記述した対象の記述開始年付近の状態を調査，ブレーンストーミングなどで構想し，“current state”コンポーネント内に記述する．このときに，Scenario Structural Description Support System に存在する Expression Level でのカテゴリー分け表示機能を用い，“targeted future vision”で記述した対象の現状が“current state”で記述できていない，といった漏れがないように記述する．この“targeted future vision”と“current state”を比較・分析し，現在から目標を達成するために必要なことを，ロジックツリーの内容を参考にしながら“transition path”として記述する．この“transition path”を経て，サブシナリオの最終状態を“end state”として記述する．

Step 8 サブシナリオの結論付け

各サブシナリオの記述の最後に，“targeted future vision”と“end state”をユーザが比較して目標を達成しているかどうか分析を行い，考察と結論を “discussion” と“conclusion”としてそれぞれユーザが記述して各サブシナリオを結論付ける．Step6~8 の結果として各サブシナリオの構成要素の内容が図 6.5.3 のように決定される．

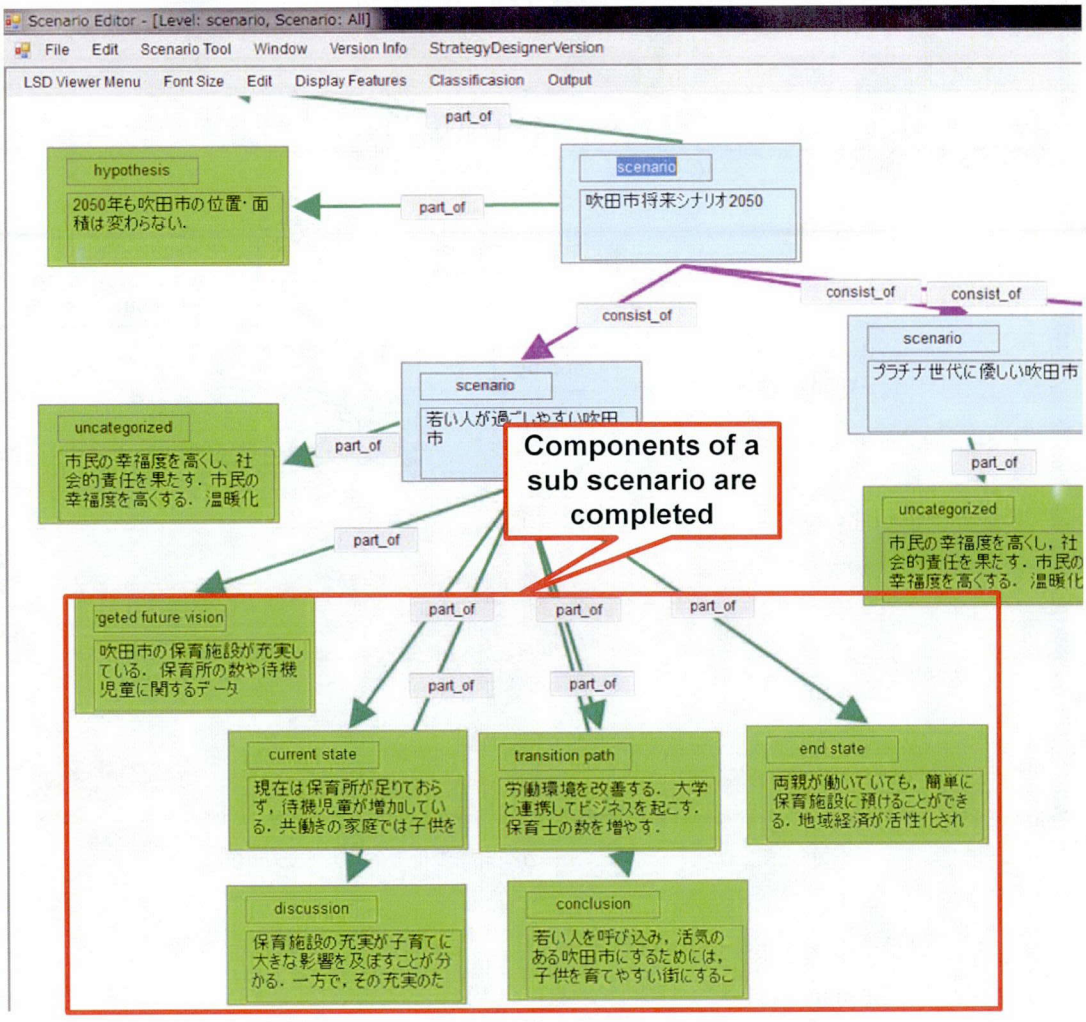

図 **6.5.3** 完成されたサブシナリオ

Step 9 シナリオ全体の結論付け

各サブシナリオの Expression/ Data Level が完成したら，全サブシナリオの Expression/ Data Level を表示して，ユーザは各サブシナリオの結論同士を比較・分析することによって，シナリオ全体の考察・結論を導く．

Phase 4 シナリオ文書の記述

Step 10 シナリオ文書の記述

Phase 3 が終了した後，フォアキャスティング型シナリオの時と同様に Scenario Structural Description Support System のテキストエディタ機能を起動し，文書形式で表示された構造化シナリオ内のセンテンス(=Expression Level のノード)を文章上で移動させ，センテンスの細部の文章上の表現，接続詞などを補って文書として読みやすくなるように整える．構造化シナリオの整形が終わったら，Sceanrio Structural Description Support System の文書出力機能を使ってシナリオ文書を出力する．

以上の手順に従って，設計支援システムを用いてバックキャスティング型シナリオ設計を実行する．実行例の詳細は第 7 章で述べる．

第7章 実行例

第 7 章では，第 6 章までに提案してきたシナリオ設計支援方法論と設計支援システムの有効性を検証するために，シナリオ設計支援方法論と設計支援システムを用いてケーススタディを実行する．ここでは「電気自動車の普及に伴う日本の自動車業界の変化を占う.」という初期問題に対してフォアキャスティング型で「電気自動車普及社会シナリオ」を,「日本の持続可能な製造業の将来像を描く.」という初期問題に対してバックキャスティング型で「持続可能製造業シナリオ」を設計した.

7.1 シナリオ設計プロセスの全体像

第 5 章，第 6 章にて提案したフォアキャスティング型，バックキャスティング型シナリオ設計プロセスを統合した，本研究で提案するシナリオ設計プロセスの全体像を図 7.1.1 に示す．以降，5.4 節，6.4 節で述べたシナリオ設計支援システム上でこのシナリオ設計プロセスを実行してシナリオを設計し，その有効性を確かめる．

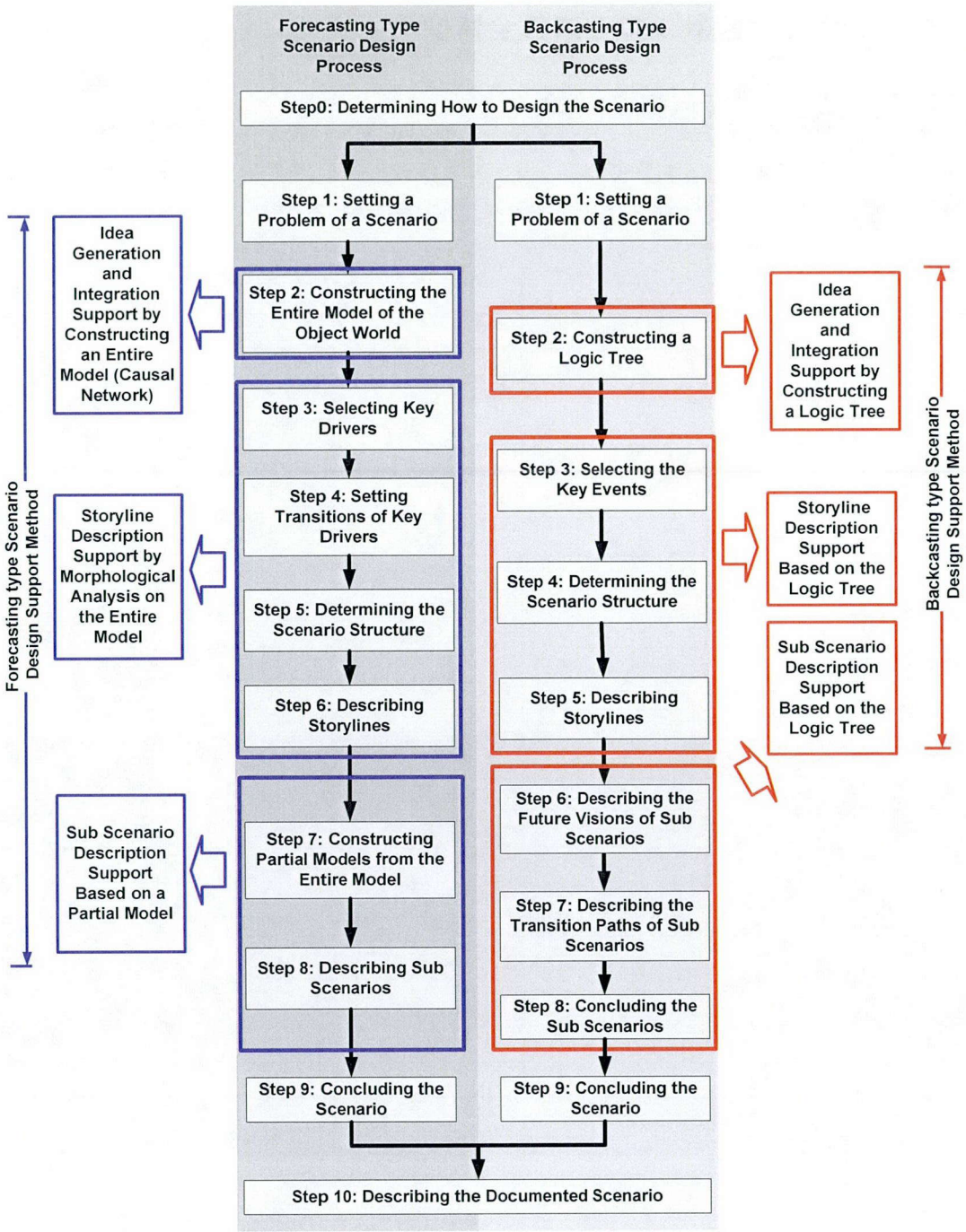

図 **7.1.1** シナリオ設計プロセスの全体像

7.2 実行例の概要

本実行例の目的は，第 4 章から第 6 章で提案した方法論の有効性を検証することにある．本節以降，7.3 節において「電気自動車の普及に伴う日本の自動車業界の変化を占う．」という初期問題に対して，フォアキャスティング型で「電気自動車普及社会シナリオ」を設計する．次に 7.4 節において，「日本の持続可能な製造業の将来像を描く．」という初期問題に対して，バックキャスティング型で「持続可能製造業シナリオ」を設計する．

7.3 実行例：フォアキャスティング型シナリオ設計

7.3.1 概要

本方法論では，シナリオの初期問題に合わせて設計者が適当なシナリオをフォアキャスティングとバックキャスティングのどちらで設計するかを決定するが．本実行例ではフォアキャスティング型で設計するシナリオの初期問題として「電気自動車の普及に伴う日本の自動車業界の将来を占う.」を設定した．現実に 2010 年頃から電気自動車の開発や商品化が開始されており，今後社会への普及が進んでいくことが想定される．そのため，フォアキャスティング型で普及の方向性を想定する形でシナリオを描きうると考えて，ケーススタディの題材としてこの初期問題を想定した．

シナリオの設計は，主に設計に携わる大学院生 2 名と，外部からのチェックを行う大学院生 1 名，計 3 名で実行した．主な設計者 2 名によるワークショップ形式でフォアキャスティング型シナリオ設計支援ツールを用いて構想と記述を行い，評価に関して外部の 1 名を合わせた計 3 名で実施した．

7.3.2 Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1: シナリオの問題設定

初期問題である「電気自動車の普及に伴う日本の自動車業界の将来を占う.」に対して，シナリオのタイトルとして「電気自動車普及社会シナリオ」というタイトルを決定し，シナリオのメインアクターを日本の産業政策を決定する日本の政策決定者であると想定した．その他の問題についてもブレーンストーミングや必要なデータの調査を適宜行い，このシナリオの問題として，表 7.3.1 に示す項目を構想し，Problem Editor 上に記述した．Problem Editor は Step 1 での作業の結果より，図 7.3.1 の Scenario Level の構造を生成し，構造化シナリオに記述した．

表 7.3.1 電気自動車普及社会シナリオの問題

項目		内容
Title		Electric Vehicle Diffused Society Scenario
Objective		Envision the future situations of Japanese automotive industries when electric vehicles (Electric Vehicles) diffused.
Background		For achieving the low carbon society, EVs will be diffused. Policy makers want to look how this diffusion changes structure of automotive industry.
Time Horizon	Start Year	2010
	End Year	2030
Region		Japan
Main actor		Policie makers of the Japanese government
Actors		Existing automotive manufacturers, emerging automotive manufactuerers, consumers, commercial users, electric companies, battery manufactuerers, oil suppliers, gas suppliers, construction companies, car retailers, road service suppliers, manufacturers of photovoltaic cells, NPOs, NGOs

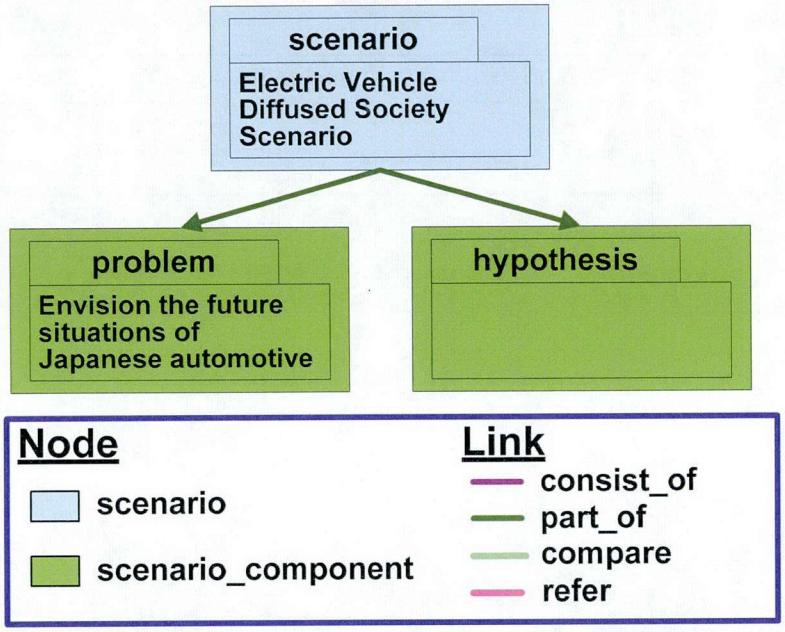

図 7.3.1 シナリオの問題から生成した構造化シナリオ(Scenario Level)

7.3.3 Phase 2 ストーリーラインの記述

Step 2: 対象世界の全体モデルの構築

Step 1 で設定したシナリオの問題，特にシナリオの設計目的とメインアクター，その他のアクターを参照して設計者間でブレーンストーミングを行い，対象世界の全体モデルを構築した．Idea Generator を用いてブレーンストーミングを行い，表 7.3.2 に示した 21 個の要因を構想した．構想した要因を Causal Network Editor 上に展開し，それらの間に因果関係を接続して図 7.3.2 の全体モデルを構築した．

表 7.3.2 ブレーンストーミングで構想した全体モデルの要因

Political	*Economic*	*Sociological*	*Technological*
Global economic cooperation e.g. ETA	Situation of automotive industry	Form of cities	Technology of GV
Global political cooperation	Material supply	Modalshift	Technology for CO2 reduction
Domestic policy	Energy price	Market Market share of GV	Renewable vehicle energy
	Energy supply for vehicles	Market Market share of HEV	Technology of EV
	Sales of automobiles	Market Market share of EV	
		Public transport	
		User's needs for mobility	
		Information society	
		Sharing cars	

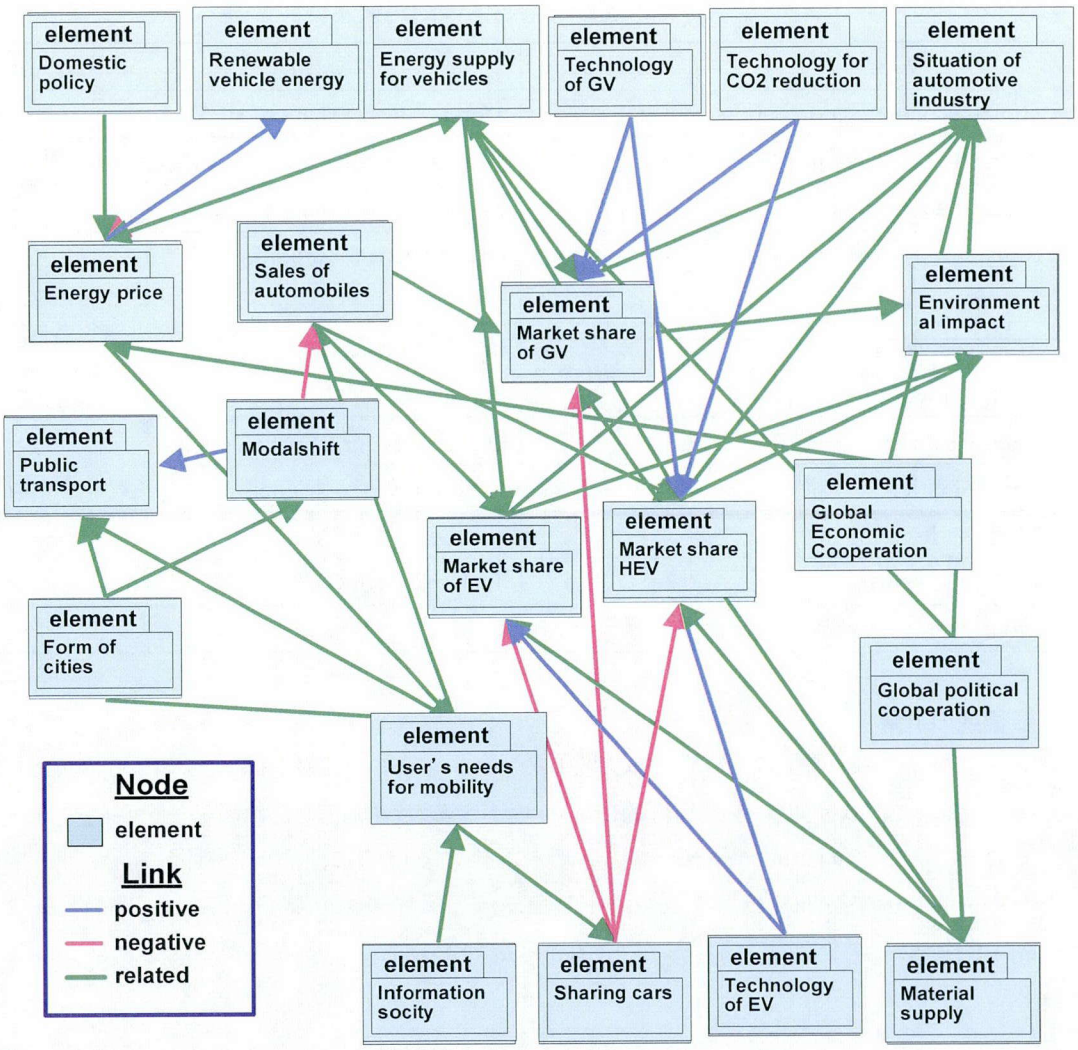

図 7.3.2 電気自動車普及社会シナリオの全体モデル

Step 3: キードライバーの選択

不確定性の決定

図 7.3.2 の全体モデル内の要因に対して，表 7.3.3 のように不確定性を決定した．その際，技術発展の不確定性，エネルギー経済の状況など，不確定性の大きい「再生可能な乗り物のエネルギー源」の不確定性を最大の 5 に，「GV(ガソリン自動車)の技術」は成熟度が高いと推定してその不確定性を 1 とし，それらの値に対する相対値を他の要因に設定した．

表 7.3.3 全体モデル内の要因の不確定性

Element	*Uncertainty*	*Element*	*Uncertainty*
Global economic cooperation	2	Market Market share of HEV	2
Global political cooperation	2	Market Market share of EV	3
Sales of automobiles	4	Market Market share of GV	3
Situation of automotive industry	3	User's needs for mobility	3
Material supply	3	Information society	2
Energy price	2	Sharing cars	4
Energy supply for vehicles	3	Technology for CO2 reduction	4
Form of cities	2	Renewable vehicle energy	5
Modalshift	3	Technology of EV	3
Public transport	2	Technology of GV	1
Enviromental impact	3	Domestic policy	3

影響度の計算

キードライバー選択のために影響度を計算すべく，図 7.3.2 の全体モデル内において，図 7.3.3 のように，シナリオの設計目的に応じて「日本の自動車産業の状況」を目的ノードとして設定した．その目的ノードへの影響度を評価するために，同一の要因に向かって接続されている各因果関係に伝達係数を設定した．伝達係数の値を規定値である 1 から変更した因果関係の一覧を，表 7.3.4 に示す(伝達係数の定義より，接続先の要因を基準として整理している．)

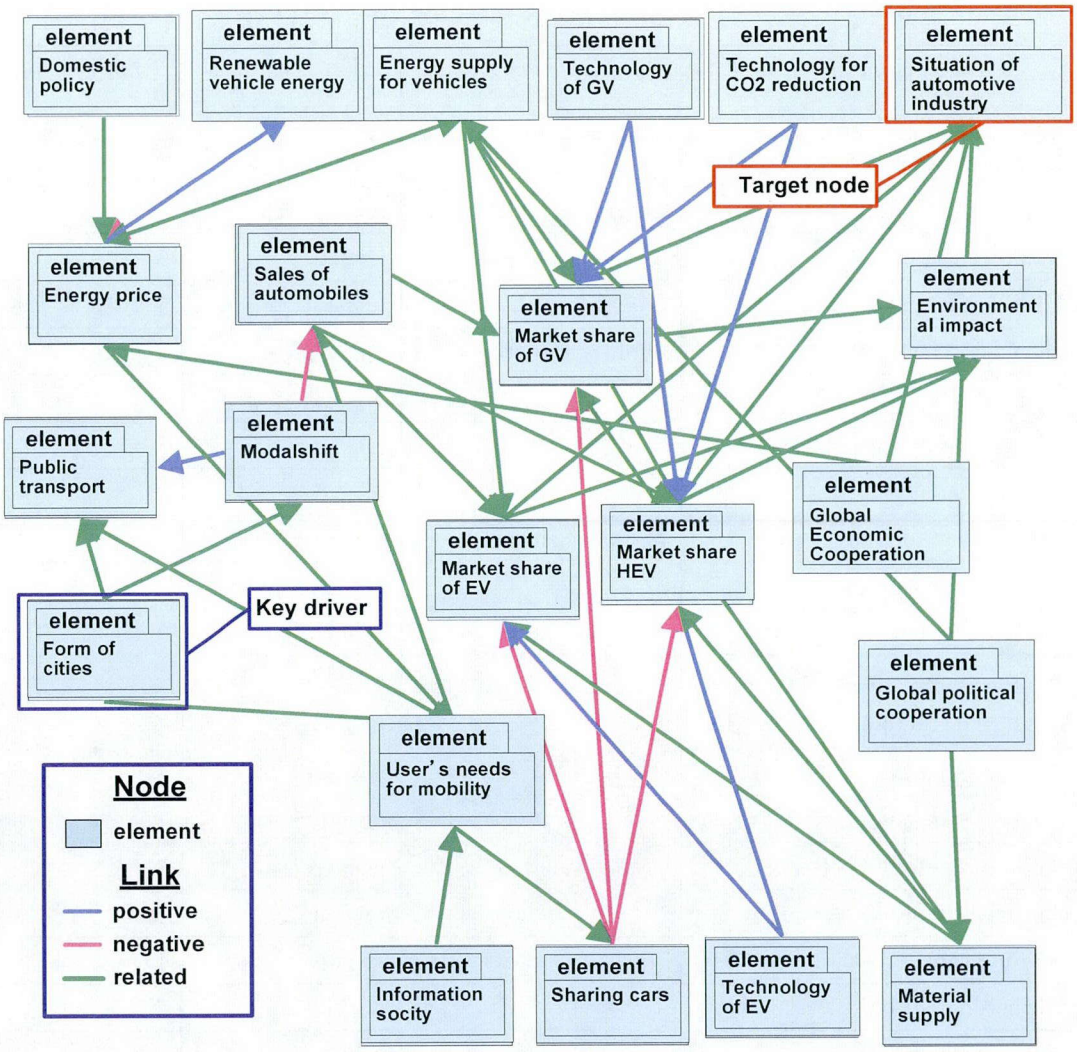

図 7.3.3 目的ノードとキードライバーの設定

表 **7.3.4** 全体モデルへの伝達係数の設定結果(規定値から変更したもの)

Element connected from	*Element connected to*	*Type*	*Value of transfer coefficient*
Market share of GV	Environmental impact	related	1
Market share of HEV		related	2
Market share of EV		related	3
User's needs for mobility	Public transport	related	1
Modalshift		positive	2
Form of cities		related	1
Energy supply for vehicles	Market share of EV	related	3
Material supply		related	2
Sales of automobiles		negative	1
Sharing cars		negative	1
Technology of EV		positive	3
Energy supply for vehicles	Market share of GV	related	2
Sales of automobiles		related	1
Technology of GV		positive	3
Sharing cars		negative	1
Technology for CO2 Reduction		positive	3
Material supply		related	1
Sharing cars	Market share of HEV	negative	1
Technology of EV		positive	2
Technology of GV		positive	1
Energy supply for vehicles		related	1
Technology for CO2 Reduction		positive	2
Sales of automobiles		related	1
Material supply		related	2
Information society	User's needs for mobility	related	1
Public transport		related	1
Form of cities		related	1
Energy price		related	2

表 7.3.4 のように設定した伝達係数に基づいて，Causal Network Editor の機能を用いて 5.3.3 項のアルゴリズムにより，目的ノードに対する影響度を計算した．表 7.3.3 のように設定した要因の不確定性と影響度の積を取り，要因をその積の昇順に並べた物を表 7.3.5 に示す．

評価結果が 1 位の要因は，目的ノードである「日本の自動車業界の状況」であったため除外して，評価結果を参照しつつ，日本社会が変化したときの，日本国内における自動車の使われ方を左右する社会的な要因であると判断して「都市形態」をキードライバーに選択した(図 7.3.3 参照).

表 7.3.5 全体モデル内のノードの不確定性と影響度

Node	*uncertainty*	*impact*	*Product of uncertainty and impact*
Situation of Japanese automotive industry (targetd node)	3	1	3
Form of cities (key driver)	2	0.76	1.52
Global political cooperation	2	0.75	1.5
Domestic policy	3	0.42	1.26
Renewable vehicle energy	5	0.25	1.25
Global economic cooperation e.g. FTA	2	0.58	1.16
Energy supply for vehicles	3	0.25	0.75
Market share of GV	3	0.2	0.6
Market share of HEV	3	0.2	0.6
Market share of EV	3	0.2	0.6
Modalshift	3	0.17	0.51
Energy price	2	0.25	0.5
Users' needs for mobility	3	0.15	0.45
Technology for CO2 reduction	4	0.09	0.36
Material supply	3	0.1	0.3
Technology of EV	3	0.1	0.3
Public transport	2	0.15	0.3
Sales of automobiles	4	0.06	0.24
Sharing cars	4	0.06	0.24
Information society	2	0.07	0.14
Technology of GV	1	0.07	0.07
Environmental impact	3	0	0

Step 4:キードライバーの変化の設定

Storyline Editor を起動し，Step 3 で決定したキードライバー「都市形態」の将来に向けた変化について設計者間で議論を行い，「大都市に人口が集中する.」と「小規模な都市が全国に分散する.」の 2 つを想定し，記述した(表 7.3.6 参照).

Step 5: シナリオの構成決定

1 つのキードライバーに 2 つの変化を想定したので，「電気自動車普及社会シナリオ」は 2 つサブシナリオから構成するとした.「大都市に人口が集中する.」に対するサブシナリオを「大都市集中シナリオ」と命名し，「小規模な都市が全国に分散する.」に対するサブシナリオを「コンパクトシティシナリオ」と命名した(表 7.3.6 参照).

Step 6: ストーリーラインの記述

Phase 2 の最後に，2 つのサブシナリオのストーリーラインについて議論を行い，ストーリーラインの一部であるキードライバーに関する仮定を表 7.3.6 のように記述した.

Step 5, 6 で構想したシナリオの構成を図 7.3.1 の Scenario Level の構造に反映し，図 7.3.4 のような構造化シナリオを作成した．ストーリーラインに記述したキードライバーの変化に関する仮定は，Storyline Editor が各サブシナリオの“transition path”コンポーネント下の“hypothesis”コンポーネントに記述した.

表 7.3.6 電気自動車普及社会シナリオのシナリオ構成

Key driver	Form of cities	
Transition of the key driver	Centralized to metropolis	Small cities spread all around Japan
Name of the sub scenarios	Urban centralization sub scenario	Compact city sub scenario
Hypothesis about the key driver described in the storyline of the sub scenario	Most of people in Japan will live in metropolitan areas like Tokyo. A metropolitan area includes the central city and suburban area. The form of metropolitan area is the same as that of today.	Many cities become compact cities, which are 20 ~ 30 km dia. The density in cities is high, so roads and passages in them are narrow.

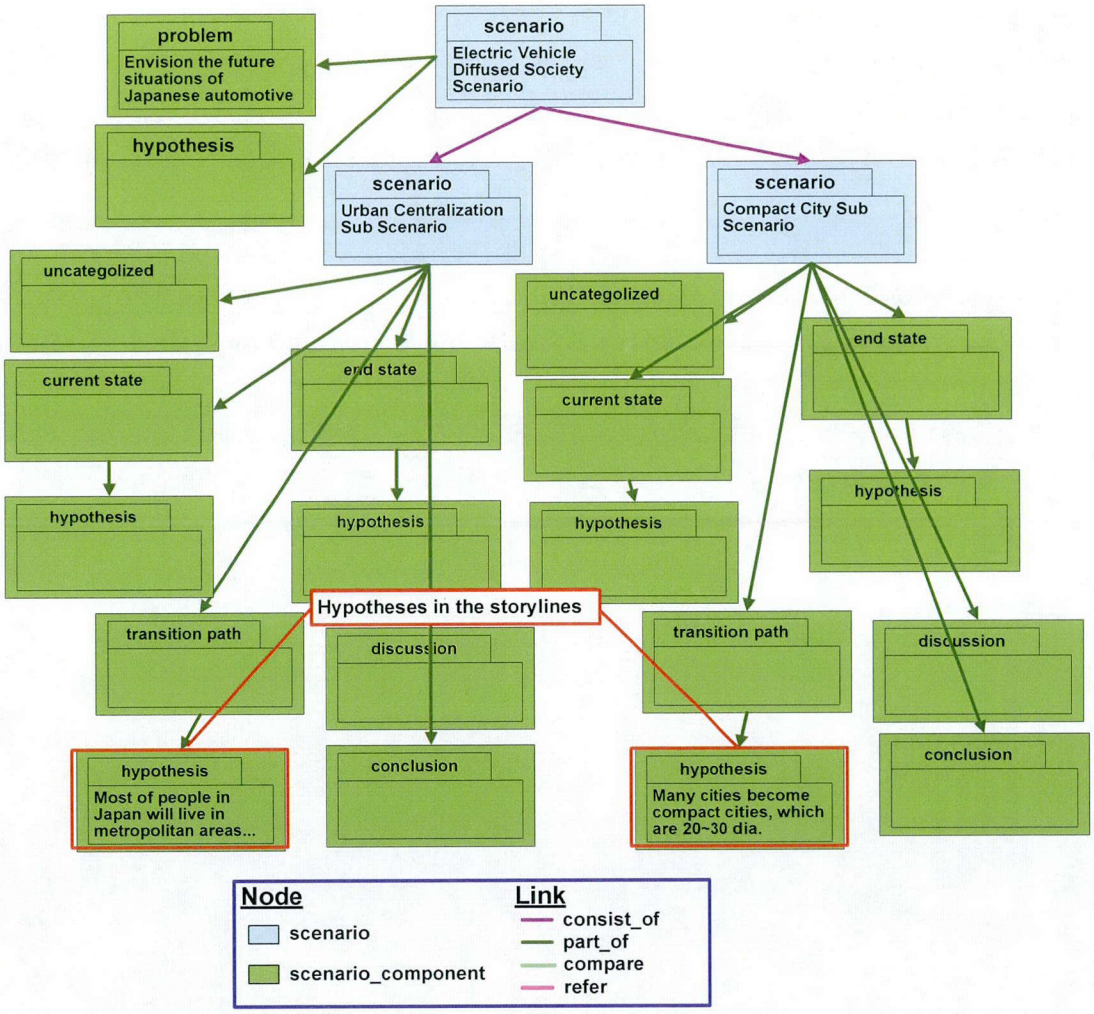

図 7.3.4 ストーリーライン記述の結果生成される Scenario Level の構造

7.3.4　Phase 3 シナリオの詳細の記述

Step 7: 対象世界の部分モデルの構築

ストーリーラインの作成後に，再び Causal Network Editor を起動し，それぞれのサブシナリオに対応する形で全体モデルを詳細化して部分モデルを構築し，詳細化の元になる全体モデル内の要因から詳細化先の部分モデル内の要因に対して，“detailed”リンクを接続した．

部分モデル構築における要因の詳細化の例を表 7.3.7 に示す．(1)の例は「都市形態」の詳細化を表す，全体モデル内の「都市形態」については，両シナリオの部分モデルにおいても詳細化は行わず，「都市形態」のままであるとした．(2)の「公共交通」については大都市集中シナリオにおいては現在と大都市の形態は変わらないとストーリーラインで想定しているため(表 7.3.6 参照), 詳細化は行わなかったが, コンパクトシティシナリオにおいては, 電車とバスに詳細化した．(3)の「電気自動車の技術」については，「高効率モーター」，「急

速充電器」については両サブシナリオに共通であるとしたが，大都市集中シナリオにおいては特にバッテリー技術に着目して「長寿命バッテリー」と「大容量バッテリー」に詳細化した．(4)の「自動車業界の状況」については，コンパクトシティシナリオにおいては，自動車業界への多様な企業の参入を想定すると考えて，大都市集中シナリオよりも多数の要因に詳細化した．

図 7.3.5 に示すコンパクトシティシナリオの展開例においては，前述の通り全体モデル内の「(A)都市形態」はそのまま「(a)都市形態」であるとし，「(B)人々の移動手段への要求」はサブシナリオ内において詳細に検討するために「(b)人々の公共交通への要求」，「(c)人々の自動車への要求」へと詳細化した．

以上述べてきた例のように全体モデルから部分モデルを構築し，大都市集中シナリオの部分モデルは 66 個の要因から，コンパクトシティシナリオの部分モデルは 76 個の要因から構成した．

表 7.3.7 全体モデルからの部分モデル構築の例

	Node in the entire model	*Node in a partial model (Urban centralization sub scenario)*	*Node in a partial model (Compact city sub scenario)*
(1)	Form of cities	Form of cities	Form of cities
(2)	Public transport		Train
			Bus
(3)	Technology of EVs	High efficient motor	High efficient motor
		Rapid battery charger	Rapid battery charger
		Longlife battery	
		High capacity battery	
(4)	Situation of automotive industry	Domestic automotive manufacturers	Domestic automotive manufacturers
			Domestic electric device manufacturers
		Foreign automotive manufacturers	Developed countries' automotive manufacturers
			Developing countries' automotive manufacturers
			Developed countries' electric device manufacturers
			Developing countries' electric device manufacturers

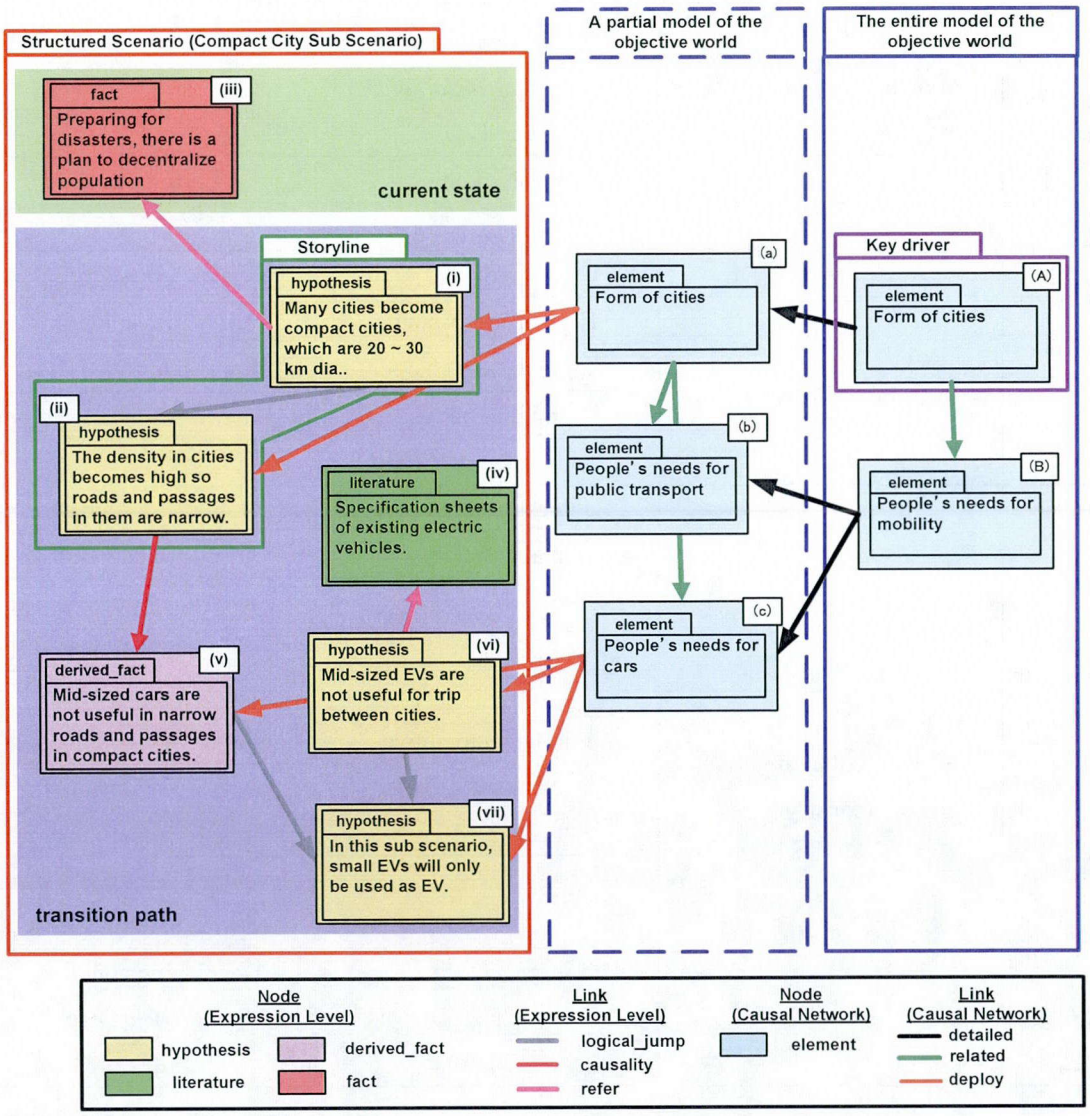

図 7.3.5 全体モデルから部分モデル，構造化シナリオの展開(部分)

Step 8: サブシナリオの記述

Step 7 で全体モデルから詳細化して構築した部分モデルをガイドラインとして用い，ストーリーラインに記述した仮定を始点としてシナリオを記述し，サブシナリオの結論を導出，サブシナリオ全体の概要をストーリーラインに追記した．

ここでは，コンパクトシティシナリオを例とする．設計支援システム上で描画した各対象世界モデルと，コンパクトシティシナリオの Expression Level の構造化シナリオを並べたものを図 7.3.5 に挙げる．

ストーリーラインに記述したキードライバーの変化に関する仮定(表 7.3.6 参照)は，Storyline Editor によってシナリオの記述開始時に構造化シナリオ内の「(i)多くの都市が直径

20~30km のコンパクトシティになる.」,「(ii)都市の人口密度は高く，街路は狭い.」に記述されている．これらの仮定の設定根拠として，現状に「(iii)災害に備えて，人口の分散が検討されている.」という事実を記述した．部分モデル内の(a)と(b)の間の因果関係を参考に，「(iv)コンパクトシティ内の狭い街路では中型車は使いにくい.」という仮定を導出し，(ii)と(iv)間の論理的な関係を“causality”リンクで表した．また,「(iv)既存電気自動車の性能緒元」をを参照して,「(vi)都市間の移動に中型の電気自動車は使いにくい」という仮定を導出した(参照関係は“refer”リンクで表現．)(v)と(v)から「(vii)このサブシナリオ内では小型電気自動車のみが用いられるようになる.」という，日本の都市構造がコンパクトシティ化した将来において用いられる電気自動車に関する仮定を論理的な飛躍(“logical_jump”)を伴いつつ導出した．以上の手順でサブシナリオの詳細を展開，記述した．

各サブシナリオの記述の後，各サブシナリオのストーリーラインを表 7.3.8 のように完成させた．

表 7.3.8 電気自動車普及社会シナリオの完成されたストーリーライン

Name of Sub Scenario	Urban centralization sub scenario	Compact city sub scenario
Completed storyline	Most of people in Japan will live in metropolitan areas like Tokyo. A metropolitan area includes the central city and suburban area. The form of metropolitan area is the same as that of today. Technologies for EVs, such as that of batteries, advances and it enables people to use EVs like GVs or HEVs. Mid-sized EVs, which is produced by automotive manufacturuers, are mainly used in this sub scenario. Therefore, the situation of Japanese automotive industries does not changes drastically.	Many cities become compact cities, which are 20 ~ 30 km dia. The density in cities is high, so roads and passages in them are narrow. Mid-sized EVs are not useful in compact cities, so small-sized, low-speed EVs are produced and used in this sub scenario. It is easy to clear the safety standard of mini-sized, low-speed Evs, so various stakeholders will come into the automotive industry. As a result, Japanese automotive industy is diversified and existing automotive manufacturers must adapt to the change.

Step 9: シナリオの結論付け

ここまでに記述した各サブシナリオの結論を参照して，シナリオ全体の結論を導出した．導出過程の一部を図 7.3.6 に示す．

2 つのサブシナリオの結論の一部(i)，(ii)を比較してシナリオ全体の考察において，「(iii)自動車の使われ方の変化を想定しているコンパクトシティシナリオにおいては，自動車市場の競争が激化する．」考察しており，その考察にもとづいて，「(iv)コンパクトシティシナリオにおいて国内の自動車メーカーを保護するためには，貿易，あるいは外交政策が必要となる．」という結論を導出している．

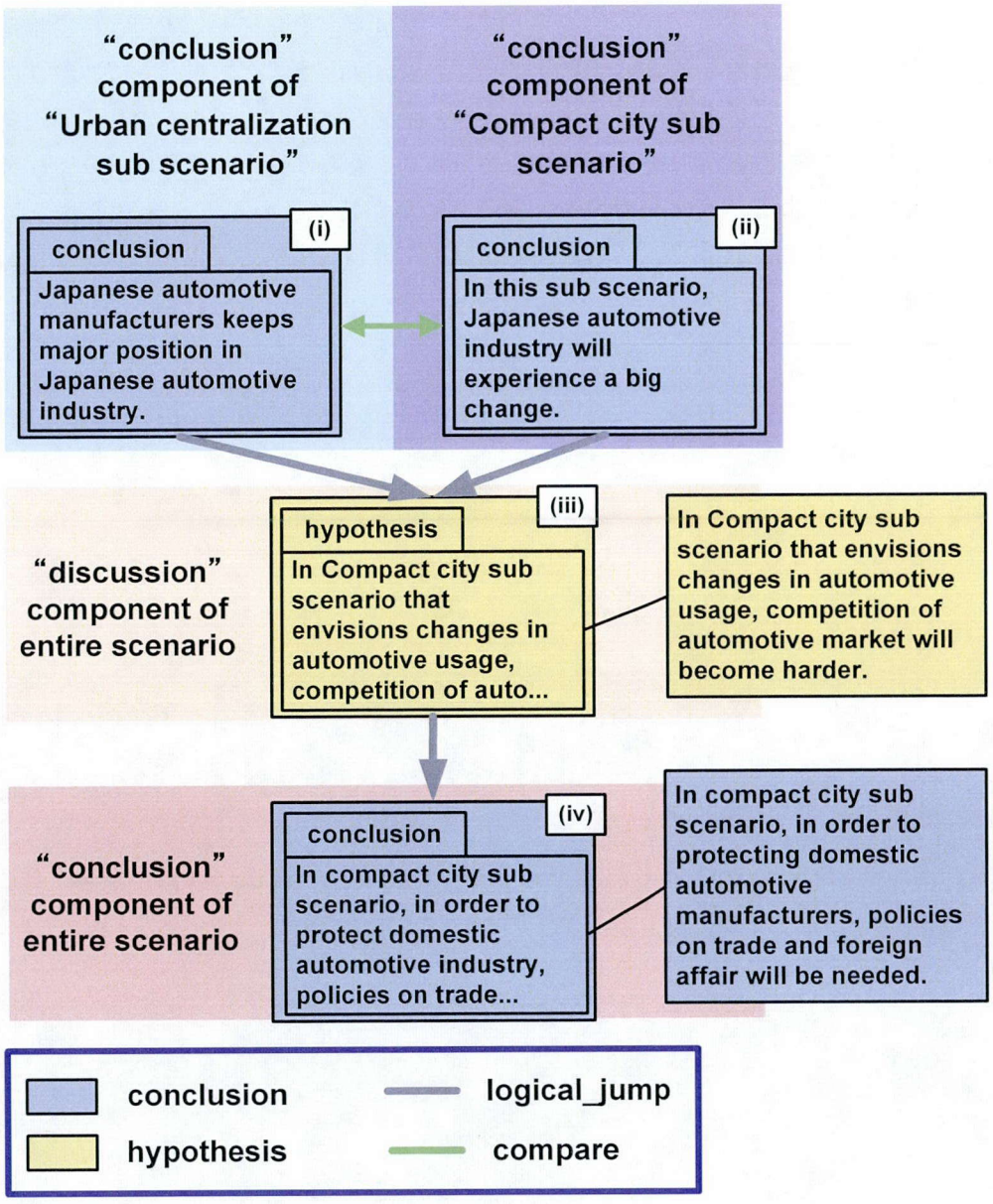

図 7.3.6 シナリオ全体の結論付け(部分)

7.3.5　Phase 4 シナリオ文書の記述

Step10: シナリオ文書の記述

最後に，図 7.3.5 のように論理構造図の形で操作してきた構造化シナリオにおいて，個々の記述の文章内における順番を入れ替え，文章の細部を整え，シナリオ文書を出力した．記述したシナリオ文書の結論部分を以下に示す．

"大都市集中シナリオでは中型車中心という，自動車の使用状況が現在と大きく変わらず，既存自動車メーカー，特に国内自動車メーカーの日本市場における優位は揺るがない．

対照的に，コンパクトシティシナリオでは都市形態が大きく変化して使用される車種が多様化し，そのために電機メーカーなどの様々な企業が国内市場に参入し，群雄割拠の状況になる．電気自動車と従来の自動車では構造や必要なる素材が大きく異なり，周辺産業も大きな影響を受けることが想定される．したがって，電気自動車の普及に対しては業界全体の変動に対応した周辺産業の育成や，電気自動車が特に必要とする資源(銅やレアメタル)の安定確保といった政策が求められ，それは都市構造が大きく変化する状況ではより強く求められる．”

7.4 実行例：バックキャスティング型シナリオ設計

7.4.1　概要

バックキャスティング型シナリオ設計支援手法の実行例としては，文部科学省科学研究費基盤研究(A)の「循環型製造業の将来像を設計するための持続可能社会シナリオシミュレータの開発」(No. 20246130)というプロジェクトで設計した，2 つのシナリオを取り上げる．このプロジェクトでは持続可能社会における製造業の在り方を考えるために，持続可能な製造業についてシナリオを記述することがタスクの 1 つであった．最初から持続可能な製造業をイメージすることが難しいと考えられるため，まず製造業が破綻した状態を考え，それを参考にして持続可能な日本の製造業の姿を記述する．2 つのシナリオはどちらも，プロジェクトのメンバーとワークショップを実施し，その中で構想した結果を，阪大のプロジェクトメンバーで本手法・システムに基づいて整理，記述することで設計した．

このプロジェクトでは，製造業破綻シナリオ，持続可能製造業シナリオの 2 つについてバックキャスティング型で設計を行ったが，本ケーススタディでは持続可能製造業シナリオについて述べる．

本実行例で設計する持続可能製造業シナリオでは，製造業破綻シナリオで描いた日本の製造業の破綻した状態を参考に持続可能な製造業を描く．製造業破綻シナリオ[65]では，主に日本の製造業が資源制約によって破綻する姿を記述し，資源・エネルギーの中でもレアメタルや石油，特に銅の枯渇が危ぶまれていて，2030 年代には枯渇するのではないかといったシミュレーション結果が出ている[66]．資源制約を回避するためには，資源の国内循環や備蓄が必要であるとこの製造業破綻シナリオでは結論づけた．

7.4.2　Phase 1 シナリオの問題設定

Step 1: シナリオの問題設定

ワークショップにおける議論の結果を整理して，持続可能製造業シナリオの問題設定を行った(表 7.4.1 参照)．まず日本の持続可能な製造業の姿を考えたいという目的でシナリオ設計を行ったため，シナリオのメインアクターを日本の製造業とし，日本の製造業が持続可能であるという状態をシナリオで達成したい目標とした．日本の製造業は日本の国民の雇用を確保する必要があり，また社会にインフラを提供する役割を果たしている．よって，日本の製造業が持続可能である状態とは，日本国民の雇用と生活水準が維持されている状態である，とディスカッションにより決定した．また，シナリオの前提はディスカッションの結果，2050 年には経済のグローバル化が進むことや，温暖化対策が取られるなどの内容を決定した．このシナリオを設計する前に作成した製造業破綻シナリオの結果から，資源は枯渇し，エネルギー問題は深刻化することが明らかになったので，その内容も記述した．構想した問題の内容をシステムに記述することにより，システムがこの問題の内容をロジックツリーと構造化シナリオに反映させた．

表 7.4.1 持続可能製造業シナリオの問題

項目		内容
Title		Sustainable Manufacturing Scenario
Objective		To envision sustainable future of Japanese manufacturing industry in 2050, and to draw transition paths to realize the future.
Background		Sustainable manufacturing is required. In order to realize it, the scenario drawing the future visions of sustainable manufacturing is also needed.
Target		Japanese manufacturing industry is sustainable. Namely, Japanese manufacturing industry keeps employment in Japan. And keeps employment in Japan and living standard, which means the level of public health and medical services in Japan.
Rationale for setting the target		An important role of the national industries is to create jobs, enhance prosperity of people of the country, and improve the living standard.
Time horizon	Start year	2010
	End year	2050
Targetd region		All over the world
Main actor		Japanese manufacturing industry, including fablicating industry, material and parts suppliers.
Actors		Consumers, other countries, energy supplier, traffic, etc.
Premise		● Globalization of economy proceeds. ● Natural resource runs out, and energy problem gets worse. ● Countermeasures for climate change will be taken. ● Renewable energy market will drastically progress. ● Energy source will be diversified. ● In 2050, world population becomes 9 billion. ● In 2050, population of Japan becomes 90 million, and population of productive age becomes 50 million. ● Global economy still grows in 2050, and somewhere in the world, there are emerging markets. ● The ratio of secondary industries in economic growth is almost the same as today.

7.4.3 Phase 2 ストーリーラインの記述

Step 2: ロジックツリーの構築

システムが問題設定からロジックツリーのトップノードおよび根拠をロジックツリー上に記述しているので，そこからシナリオ設計者がシナリオの目標をどのように達成すればよいかをロジックツリーで展開する．ディスカッションの結果，まず大まかに「世界市場を目指し，世界のニーズに合わせて製品を売って持続可能を目指す」と「国内市場を中心に，日本文化に基づく製品を売って持続可能を目指す」の 2 つを考え，それらに必要な状態・行動・条件を検討しながら展開した．この A，B で「目標をどうやって達成するか」という達成の手段と，目標である生活水準と雇用の維持から「製造業がどうやって利益を得るか」と「どうやって雇用を生み出すか」という 2 つの項目についても検討し，ディスカッションの結果を表 7.4.2 のように整理した．

表 7.4.2 目標達成の手段 A，B のまとめ

項目	シナリオ	
	A:国際化する	B: 国内市場に集中する
Means to achieve the target	➢ In order to sustain Japanese manufacturing industry, construct and optimize global supply chain, production, and selling ➢ Keep domestic production to keep employment in Japan	➢ In order to avoid cost competition, domestically produce high value products for the domestic market ➢ Develop a production system in cooperation with factory for creating local employments ➢ Develop prototype factory in Japan by taking advantage of advanced manufacturing technology of Japan
How to make profits	➢ Make profit in global market ➢ Tackle with cost competition	➢ Avoid cost competition and sell products for domestic market ➢ And then, sell the products in global markets
How to create jobs	➢ Domestically produce products for domestic market	➢ Create jobs by domestic production ➢ Create local employments

このディスカッションの内容を元に整理し，情報を追加・修正していくことでロジックツリーを構築した．構築したロジックツリーの一部を図 7.4.1 に示す．

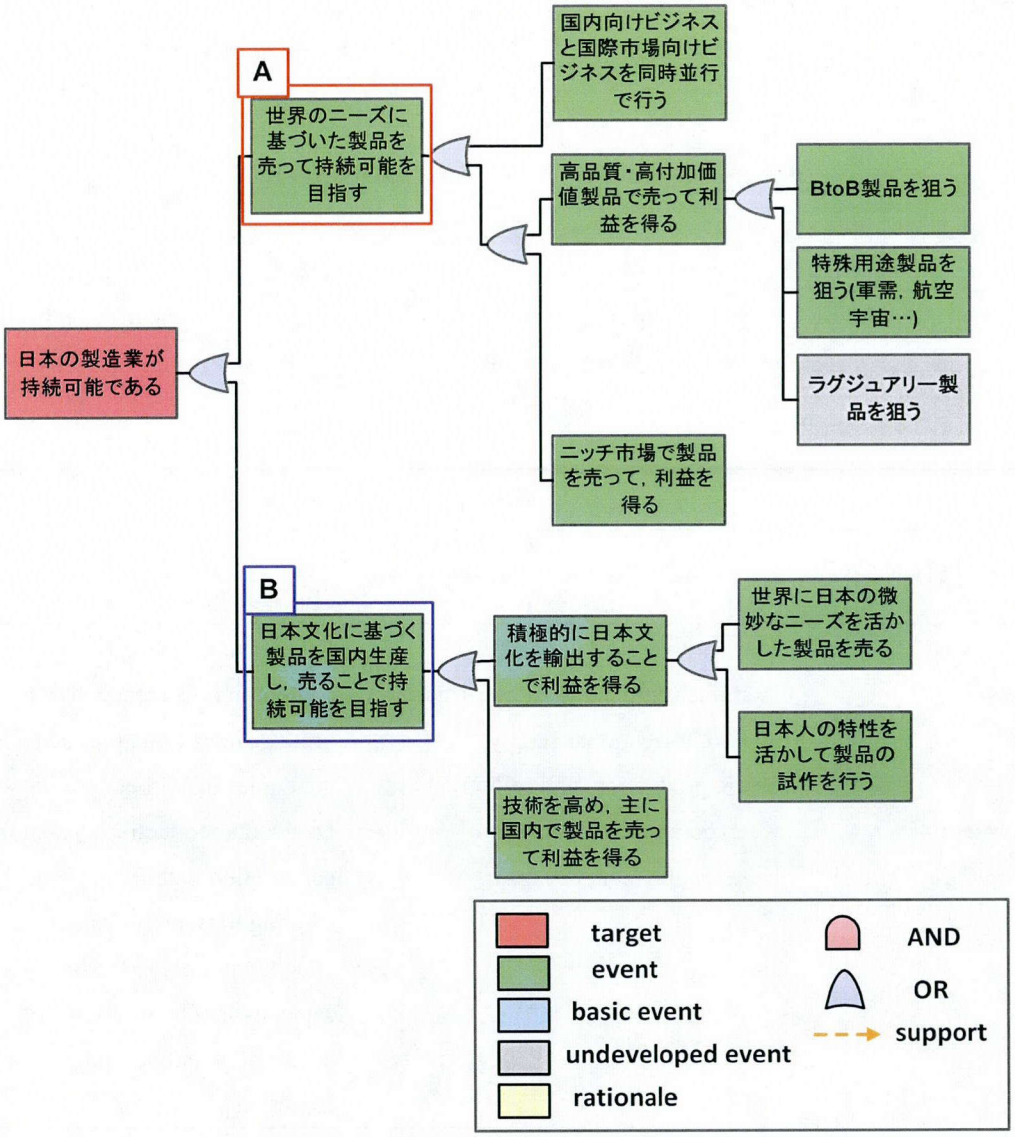

図 **7.4.1** 持続可能製造業シナリオのロジックツリー(一部)

Step 3: キーイベントの選択

ロジックツリー構築のときに導出したように，プロジェクトメンバーとのディスカッションによって持続可能製造業を達成する手段として図 7.4.1 の A，B のように 2 つ考えた．この 2 つの手段を展開して構築したロジックツリー(図 7.4.1 参照)から，目標をどう達成するかを大きく決定づけるノードであるキーイベントを選択した．

ディスカッションによってロジックツリーからの図 7.4.2 のようにキーイベントを選択し，グローバル市場で世界のニーズをくみ取って製品を売るという A の手段から 3 つ，国内市場を中心にするという B の手段から 3 つ，全部で 6 つのサブシナリオを設定した．

A の手段からは，現状のようにグローバル市場で競争するが，持続可能であるということから日本国内で雇用を創出する，というシナリオを記述したいと考えたため，図 7.4.2 の「国内向けビジネスと国際市場向けビジネスを同時並行で行う」というノードをキーイベントとして選択して「A-1：ポートフォリオ戦略シナリオ」というサブシナリオを設定した．2 つ目に，ボリュームゾーンは狙わないが，日本の高い技術力を活かして高品質・高付加価値な製品で勝負するという目標達成手段についてもシナリオを記述するとし，「BtoB 製品を狙う」と「特殊用途製品を狙う」をキーイベントとして「A-2：ジャパンクオリティ精進シナリオ」を設定した．3 つ目として，ニッチな市場で勝負するため「ニッチ市場で製品を売って，利益を得る」をキーイベントとした「A-3：グローバルニッチシナリオ」を設定した．

一方，ガラパゴス化という B の手段からは，ウォシュレットのようなガラパゴス製品を日本向けに売り，いずれ世界に売っていく，という達成の仕方を考えたため，図 7.4.2 の「技術を高め，主に国内で製品を売って利益を得る」をキーイベントとした「B-2：ジャパニーズガラパゴスシナリオ」と，それが発展して世界に普及している状態をさす「世界に日本のニーズを活かした製品を売る」をキーイベントとした「B-1：グローバルガラパゴスシナリオ」の 2 つを設定した．また，日本人の細かく凝るという特色を活かして製品の試作を行うという達成手段はどうかと考え，「日本人の特性を活かして製品の試作を行う」をキーイベントに「B-3：世界の試作工場シナリオ」を設定した．ここでの「ガラパゴス」とは，実在するガラパゴス諸島の生態系になぞらえて，外界と接触しないことにより，孤立して独自の進化を遂げることであると定義する．すなわち，「グローバル経済が進展する」というシナリオの前提にあえて逆らって

- 世界市場を見ないで国内市場に集中する
- 世界標準に合わせない
- 日本人のニーズと特性に立脚する

という方針を取ることを「ガラパゴス化」という．現在グローバル市場におけるコスト競争で日本の製造業が消耗し，日本特有の技術や特性を活かしきれていないことからガラパゴス化を検討した．

表 7.4.3 持続可能製造業シナリオのサブシナリオとキーイベントの関係

目標の達成方法	サブシナリオのタイトル	キーイベント
A: globalized	A-1: Portofolio strategy sub scenario	➢ Found both domestic and international division
	A-2: Global nitch sub scenario	➢ Focus on BtoB products ➢ Focus on products for special usage
	A-3: Japan quality pursueing sub scenario	➢ Sell products for nitch market and make profit
B: “Galapagos”	B-1: Global Galapagos sub scenario	➢ Sell products based on unique Japanese market needs to the global market
	B-2: Japanese Galapagos sub scenario	➢ Improve manufacturing technology and sell products for the domestic market
	B-3: Global prototype factory sub scenario	➢ Found prototype factory in Japan.

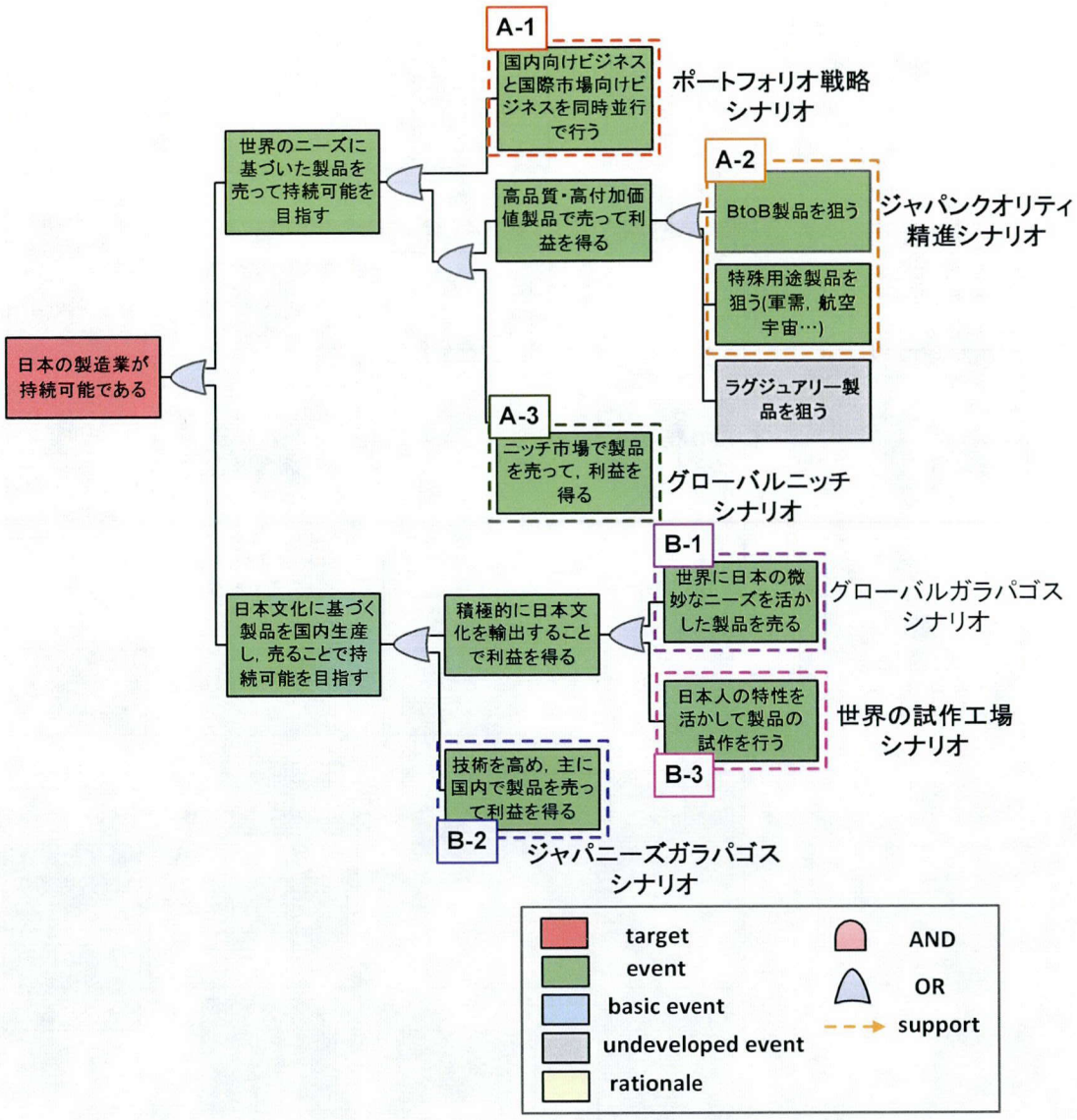

図 7.4.2 ロジックツリーからのキーイベント選択

Step 4:シナリオ構成の決定

キーイベントの選択により，システムがキーイベントからサブシナリオに対応するロジックツリーのサブツリーを自動的に抽出した．6 つのサブシナリオの中でも，B-2：ジャパニーズガラパゴスシナリオに対応するサブツリーを図 7.4.3 に示す．システムがキーイベント「技術を高め，主に国内で製品を売って利益を得る」の下位のノードのつながりからサブツリーを取得し，キーイベントの上位のノードも取得し，目標達成までの一連の流れを抽出した．論理記号が OR の場合はその下位ノードのどのノードを含むかシナリオ設計者で任意に選んだ．これにより，各サブシナリオに対応するサブツリーを抽出し，シナリオの構成を決定した．

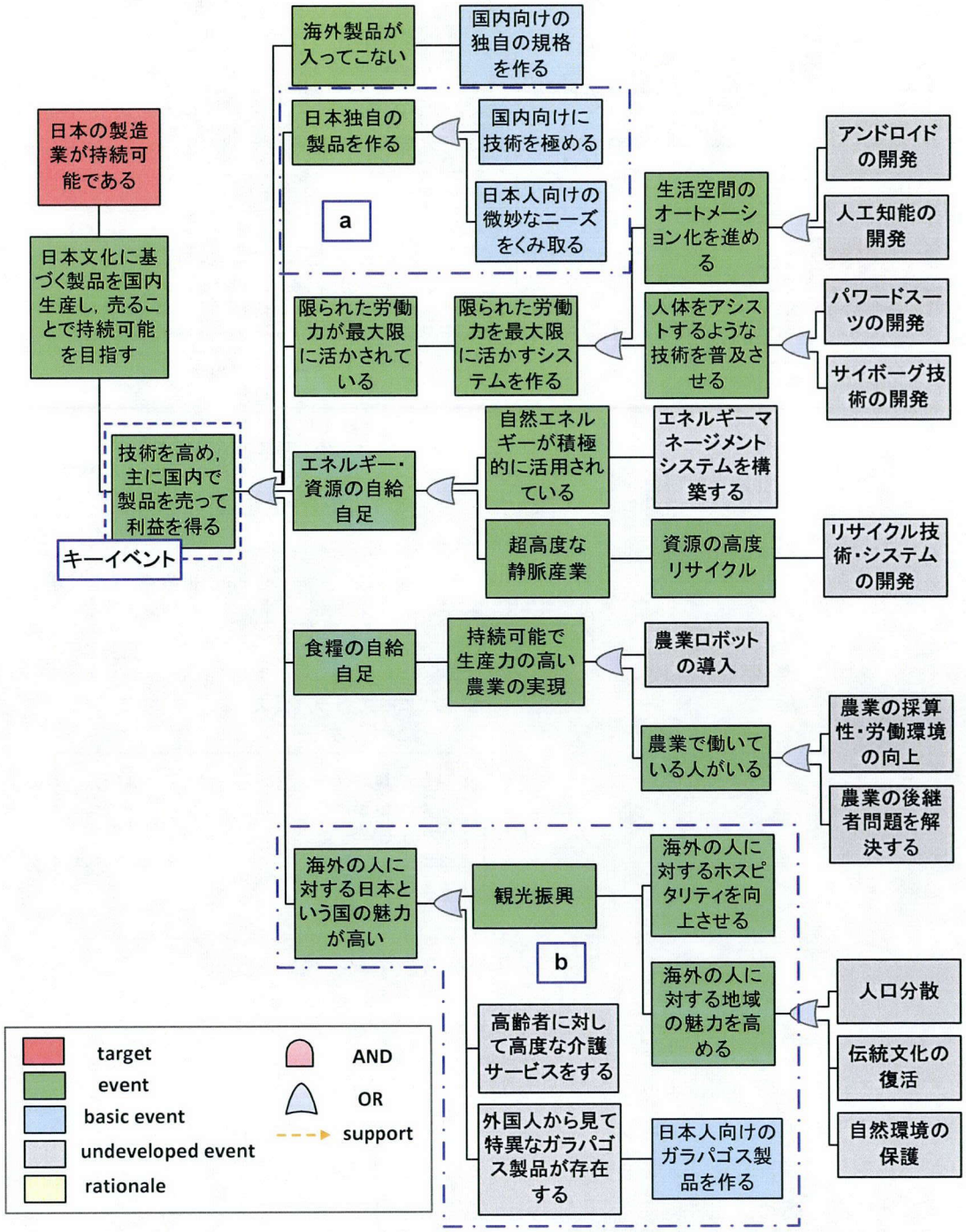

図 7.4.3 ジャパニーズガラパゴスシナリオに対応するサブツリー

Step 5: ストーリーラインの記述

図 7.4.3 のように抽出した全てのサブシナリオのサブツリーを参考に，6 つのサブシナリオについてサブシナリオの骨子であるストーリーラインを記述した．作成した 6 つのストーリーラインを表 7.4.4 に示す．表 7.4.4 のストーリーラインは，各サブシナリオのサブツリーの内容を参考に，サブシナリオで記述する中心となる事柄についてディスカッションした結果を記述した．例えば「B-2：ジャパニーズガラパゴスシナリオ」の場合，図 7.4.3 のキーイベントやサブツリーの a，b の部分の内容からストーリーラインを以下の 4 点記述した．

- 国内向けに技術を極めて，日本人の感性を生かしてガラパゴス製品を作って国内で売る
- 場合によっては世界に受け入れられるかもしれない
- 好事家が日本に買いに来る，個人輸入する
- 海外から来た人が日本の製品やサービスを楽しむ

表 7.4.4 持続可能製造業シナリオのストーリーライン

サブシナリオ	ストーリーライン
A-1: Portofolio strategy sub scenario	➢ Japanese manufacturing industry founds two divisions, namely, international division and domestic division. ➢ The international division challenges the emerging global market and wins. ➢ The domestic division does business primarily for keeping employment in Japan. Making profit is the second target of the domestic division.
A-2: Global nitch sub scenario	➢ Japanese manufacturing industry develops special global nitch products and sells them. ➢ The products are manufactured in Japan, and they are exported to the world-wide nitch market. ➢ A manufacturing company becomes a survivor of a specific nitch market.
A-3: Japan quality pursueing sub scenario	➢ Japanese manufacturing industry produces high quality and high reliability products for special market, such as BtoB market, aerospace, military use, and science experimental goods. ➢ The quality and reliability are enhanced by maintainance service and PSS system.
B-1: Global Galapagos sub scenario	➢ Japanese manufacturing industry produces “Galapagos” products, which means products based on cultural uniqueness and technological advantages. ➢ The products are designed and manufactured in Japan. ➢ Japanese government exports Japanese culture and customes, and they are accepted.
B-2: Japanese Galapagos sub scenario	➢ Japanese manufacturing industry focus on domestic market and develop and sell “Galapagos” products. ➢ Sometimes, those products are accepted in global market. ➢ Some dilettanti come and buy the products. ➢ Foreign trippers enjoys Japanese products and services.
B-3: Global prototype factory sub scenario	➢ Develop prototype factory based on Japanese high quality manufacturing technology. ➢ The factory works in international collaboration, the products are invented in Europe, prototyped in Japan, and mass produced in China. ➢ Construct a network of SMS in Japan for improving prototype capacity.

以上のプロセスの結果として，持続可能製造業シナリオの構成，すなわちシナリオに含まれるサブシナリオの数と概要が決定した．決定したシナリオの構成に基づいて，システムが自動的に持続可能製造業シナリオの構造化シナリオにサブシナリオのタイトル，サブ

ツリー，ストーリーラインの内容を記述する．この内容からシステムが Scenario Level を生成する．作成されたシナリオの Scenario Level は図 7.4.4 のようになる．なお，ストーリーラインやサブツリーの内容は“targeted future vision”，“current state”，“transition path”のいずれに含まれるか分からないため，最初は Scenario Level の“uncategorized”コンポーネントに自動的に含まれる．

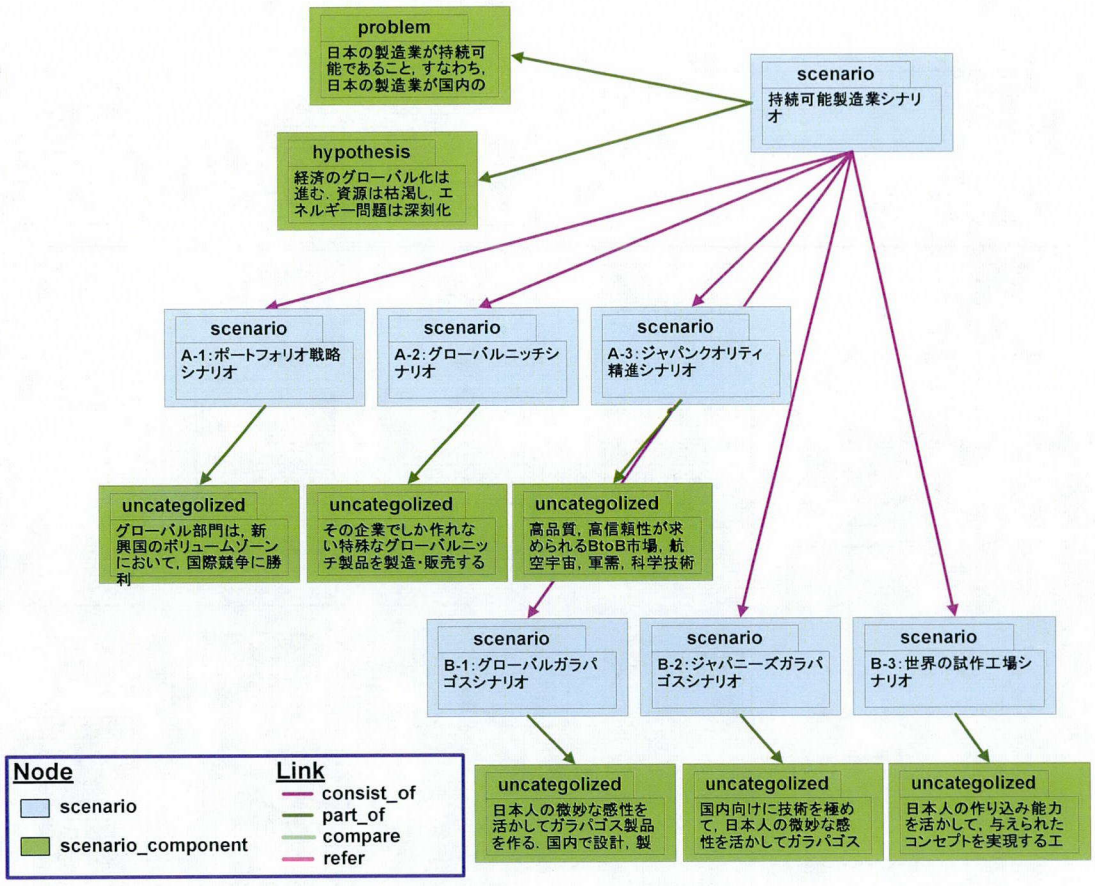

図 7.4.4 持続可能製造業シナリオの Scenario Level

7.4.4　Phase 3 シナリオの詳細の記述

このプロセスでは，Phase 2 で抽出したサブツリーとストーリーラインをガイドラインとして，持続可能製造業シナリオの各サブシナリオの構造化シナリオを作成した．ここでは，例として「B-2：ジャパニーズガラパゴスシナリオ」について詳細に説明する．

Step 6: サブシナリオの将来像の記述

(1)　ロジックツリーへの時間差の設定

ロジックツリー内の因果関係に対して“timelag”属性を設定し，ロジックツリー内に時間差

を設定した．ジャパニーズガラパゴスシナリオに対応するサブツリーに時間差を設定し，将来像に含まれる出来事，状態，行動と移行過程に含まれるそれらを区別した状態を図7.4.5に示す．

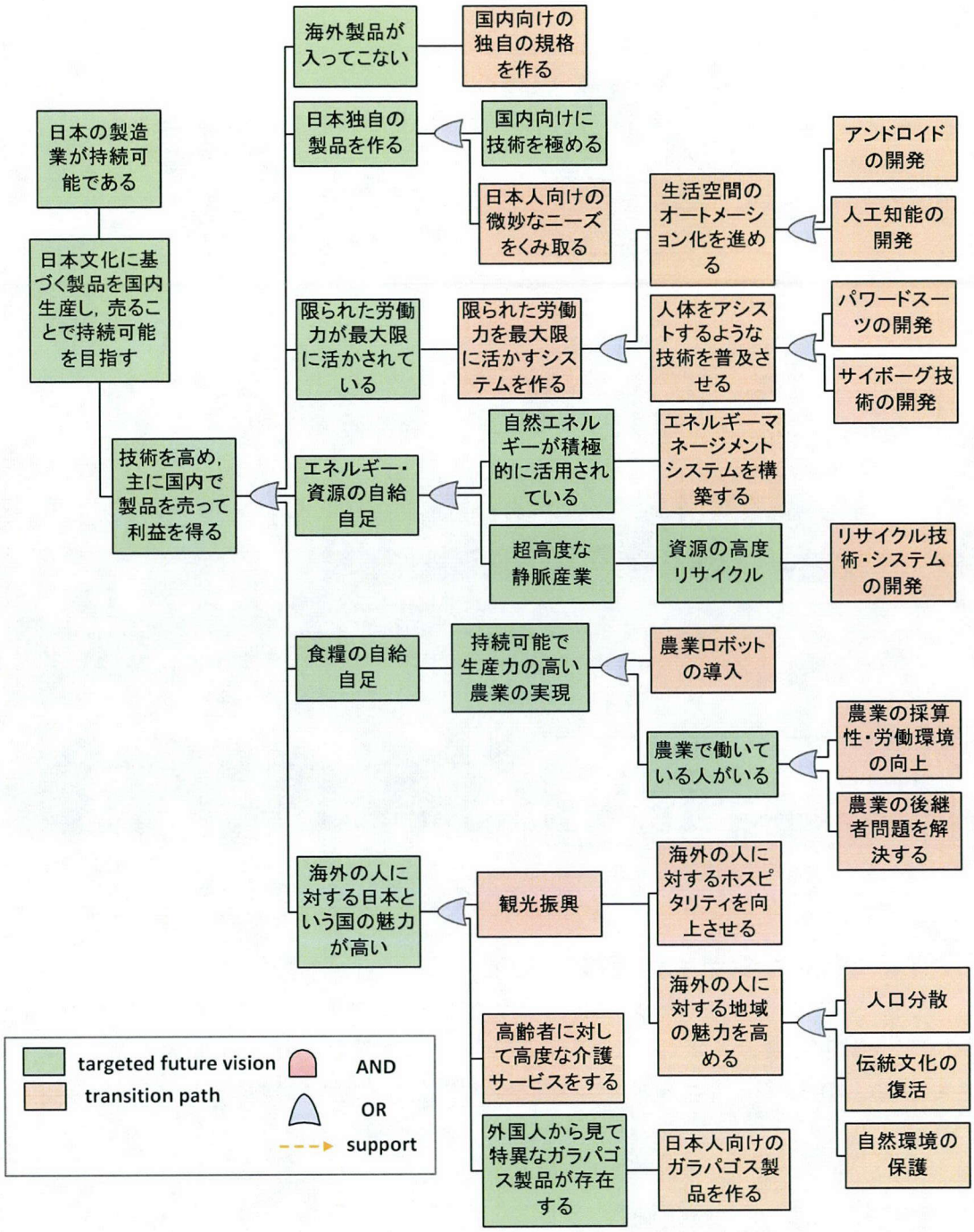

図 **7.4.5** ジャパニーズガラパゴスシナリオに対応するサブツリーへの時間差の設定

(2)　将来像の記述

ジャパニーズガラパゴスシナリオの将来像を検討するために，本ケーススタディでは PEST 分析の 4 項目(Political，Sociological，Economic，Technological)に，環境についての項目 Ecological を追加した 5 項目を用いた．サブツリー・ストーリーラインの内容から，日本の製造業がこのサブシナリオで目標達成した場合，日本社会はどうなのか，人々の生活はどうなるのか，といった将来の状況を，この 5 項目で整理した．この結果を表 7.4.5 に示す．

ジャパニーズガラパゴスシナリオでは，将来像としてガラパゴス製品を中心に製造・販売する製造業の状態を記述し，特に日本人の特性である「綺麗好き」「安心安全への追求」などを活かして高齢社会に向けた製造業の在り方を描いた．また，資源制約を考慮して日本における資源の閉ループリサイクルなども検討した．

表 7.4.5 ジャパニーズガラパゴスシナリオの将来像の主な内容

カテゴリー	目標とする将来像の内容
Political	• Governmental system is decentralized. • Decentralized authority is conducted by local government.
Sociological	• Japanese consumers prefer Japanese products. • Japanese society is an aged society. • Social system and technology for enabling the work of aged people are disseminated. • The number of people in productive age is decreased, so jobless rate is low.
Economic	• Japaneese manufacturing industry mainly develops products for domestic market. • Japanese domestic market is vitalized.
Ecological	• Tackling with resource restriction, closed loop recycling is conducted. • Electric power is generated by renewable power source.
Technological	• “Galapagos” products, such as products for aged people, are produced based on uniqueness of Japanese society. • Especially in an aged society, technologies for enhancing the ability of aged people are diffused. • Agricultural technology is improved for increasing food self-sufficiency.

例としてガラパゴス製品についての内容で，構造化したサブツリーのノード(図 7.4.6 参

照)から将来像を詳細化する操作を図 7.4.7 に示す.

システムによって，図 7.4.6 のようにロジックツリーのサブツリーの内容のみ構造化されており，ロジックツリーのノードとサブシナリオの Expression Level のノードの間にシステムが自動的に“deploy”リンクを張っている．この状態だと，「日本独自のガラパゴス製品を国内で販売している」と「海外から来た人にとって日本のガラパゴス製品の魅力が高い」の間には論理的に大きな飛躍がある．そこで，「日本独自の製品が世界に受け入れられ始めている」という情報と，その根拠として「世界一のトイレ ウォシュレット開発物語 [林良祐，2011][67]」を追加することによって，「海外から来た人にとって日本のガラパゴス製品の魅力が高い」という内容の例を記述し，シナリオを詳細に記述していった．このようにしてサブツリーとストーリーラインを詳細化・展開することでジャパニーズガラパゴスシナリオの将来像“targeted future vision”を作成した.

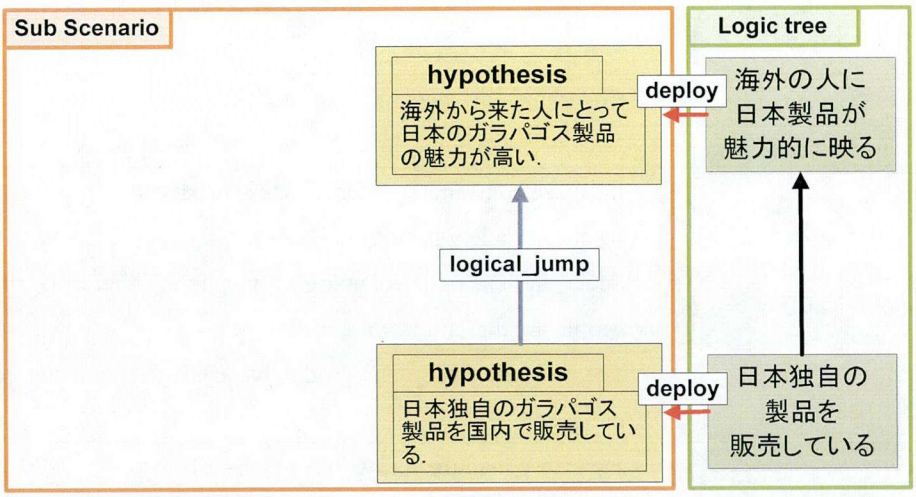

図 7.4.6 ジャパニーズガラパゴスシナリオ(将来像)の展開前の記述

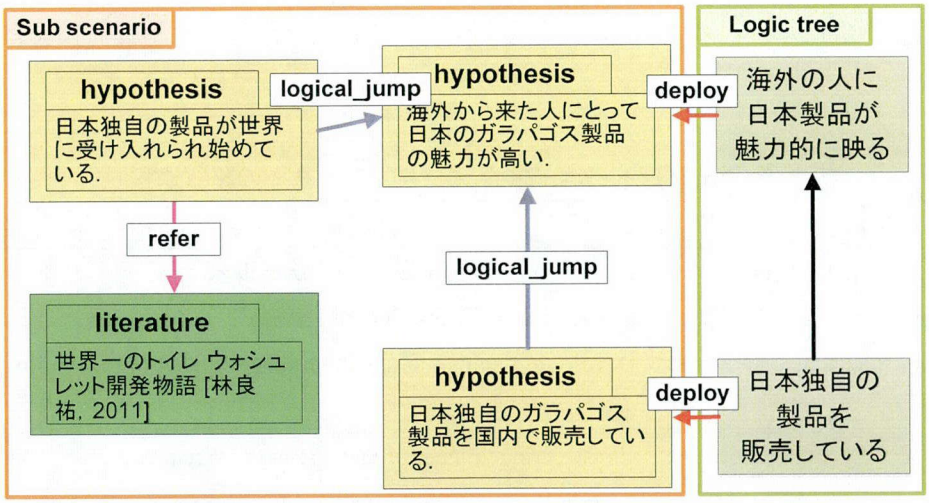

図 7.4.7 ジャパニーズガラパゴスシナリオ(将来像)の展開

Step 7: サブシナリオの移行過程の記述

まず，将来像で記述した項目について現状分析を行い，“current state”として記述した．本ケーススタディでは将来像でPolitical，Sociological，Economic，Technological，Ecologicalの 5 項目について記述したので，現状分析もこの項目について記述した．その主な結果をに示す．

表 7.4.6 現状分析の結果

カテゴリー	現在の状態
Political	• Decentralization of authority is kicked of, but is not conducted.
Sociological	• Japanese society is aging. • Aged workers are not accepted in society. • Jobless rate is high.
Economic	• Most of Japanese manufacturing industry is challenging the global market.
Ecological	• Recycle is conducted. • Renewable energy is not disseminated.
Technological	• Japanese manufacturing industry design and manufacture products for international market. • Products are developed for cost competition.

この“targeted future vision”と“current state”を比較して，目標を達成するために必要な状態・行動・条件を“transition path”として記述した．このとき，図 7.4.5 のようにサブツリーとストーリーラインのうち将来像に含まれなかったサブツリーの記述を，将来像の図

7.4.6, 図 7.4.7 のように詳細化しながら記述した．移行過程に記述した主な内容を表 7.4.7 に示す．

表 7.4.7 ジャパニーズガラパゴスシナリオの移行過程

カテゴリー	移行過程の内容
Description about Japanese manufacturing industry	• Developing technology of Renewable energy. • Developing business for aged people. • Developing human assist technology and cyborg technology for aged workers.
Description about other actors	• Constructing an energy management system. • Chaging the work environment of nursing workers for the better. • Decentralize energy supply system. • Engancing authority of local government and proceeds decentralization of government.

最後に“transition path”を経たシナリオの最終年付近の記述を“end state”として記述した．その結果を図 7.4.8 に示す．高齢化に関しての現状分析から，「高齢者向けの製品・技術を開発する」という内容を“transition path”として記述する．その結果，順方向に考えて，「高齢化に対応した製品が普及している」と「製品の普及に伴い，エネルギー消費量が増加する」という内容を導出し，“end state”として記述する．このとき，順方向に記述したために“targeted future vision”では記述されなかった，「エネルギー消費量が増加する」という持続可能製造業の達成の妨げになるような記述が追加された．

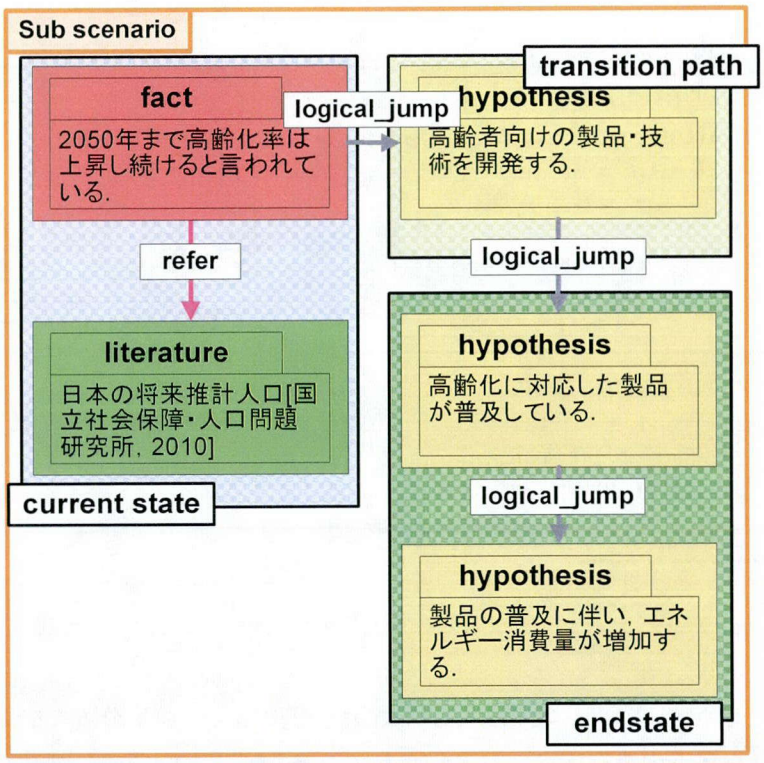

図 7.4.8 ジャパニーズガラパゴスシナリオ(移行過程)の展開

Step 8: サブシナリオの結論付け

"targeted future vision"と"end state"を分析し，その結果考察を導出したしたところ，このジャパニーズガラパゴスシナリオで重要となってくるのはガラパゴス製品，特に高齢社会への対応だった．その考察の一部を図 7.4.9 に示す．

順方向に導出した"end state"では，「製品の普及に伴い，エネルギー消費量が増加する」という内容を記述した．"targeted future vision"ではこの記述はなく，順方向に検討したことによって，ロジックツリーで抽出した目標達成までの流れを追うと"targeted future vision"では検討できていなかった移行過程による副作用「エネルギー消費量が増加する」が導出された．この結果から，ジャパニーズガラパゴスシナリオの考察として「エネルギー問題や CO2 排出量の問題がさらに深刻化する」と記述した．

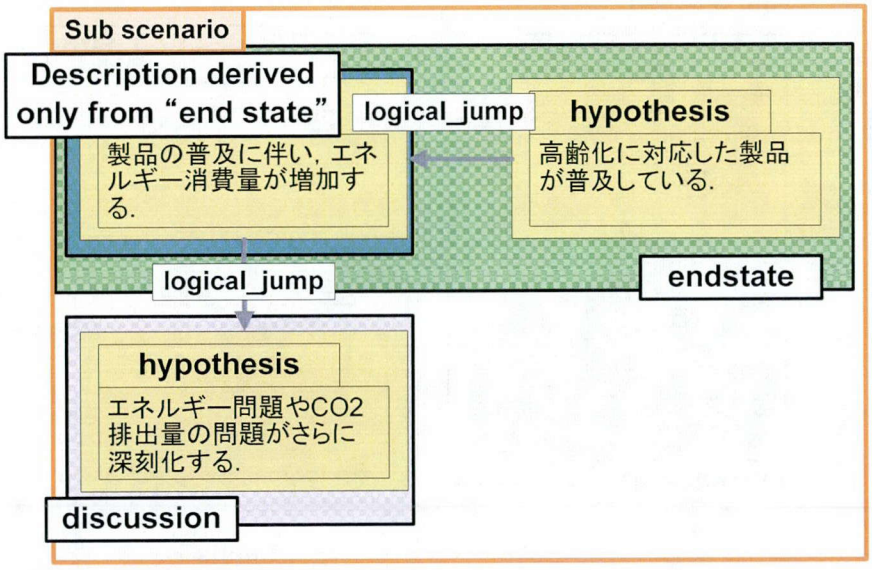

図 7.4.9 ジャパニーズガラパゴスシナリオ(サブシナリオの考察部分)の展開

これらの考察の結果から，以下のような結論を導出した．現状分析の結果から，現在は日本が最も早く高齢化を迎えていると言われているため，高齢者向け製品がガラパゴス製品であったとしても，いずれは海外に普及するかもしれない．その点で，高齢者向けの製品は今後の日本を支えるための大きな技術開発であると考えられる．また，一方で資源制約への対応から，資源需要量を減らす努力が必須である．

ジャパニーズガラパゴスシナリオの構造化シナリオの Scenario Level を図 7.4.10 に，Expression Level の全体像を図 7.4.11 に示す．図 7.4.11 のように Expression Level と Data Level でサブシナリオを作成することで，最終的に図 7.4.10 が完成する．

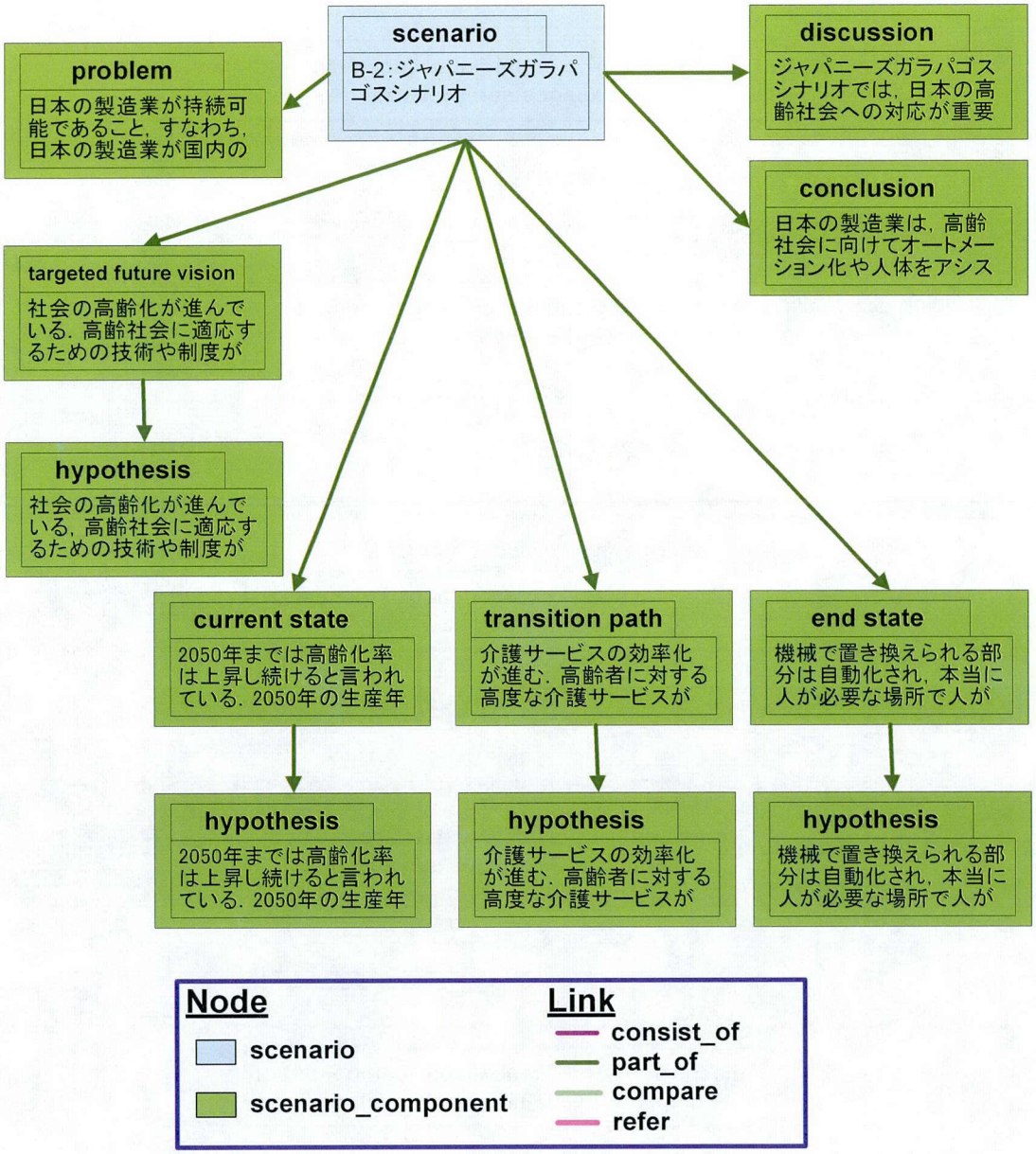

図 7.4.10 ジャパニーズガラパゴスシナリオの Scenario Level

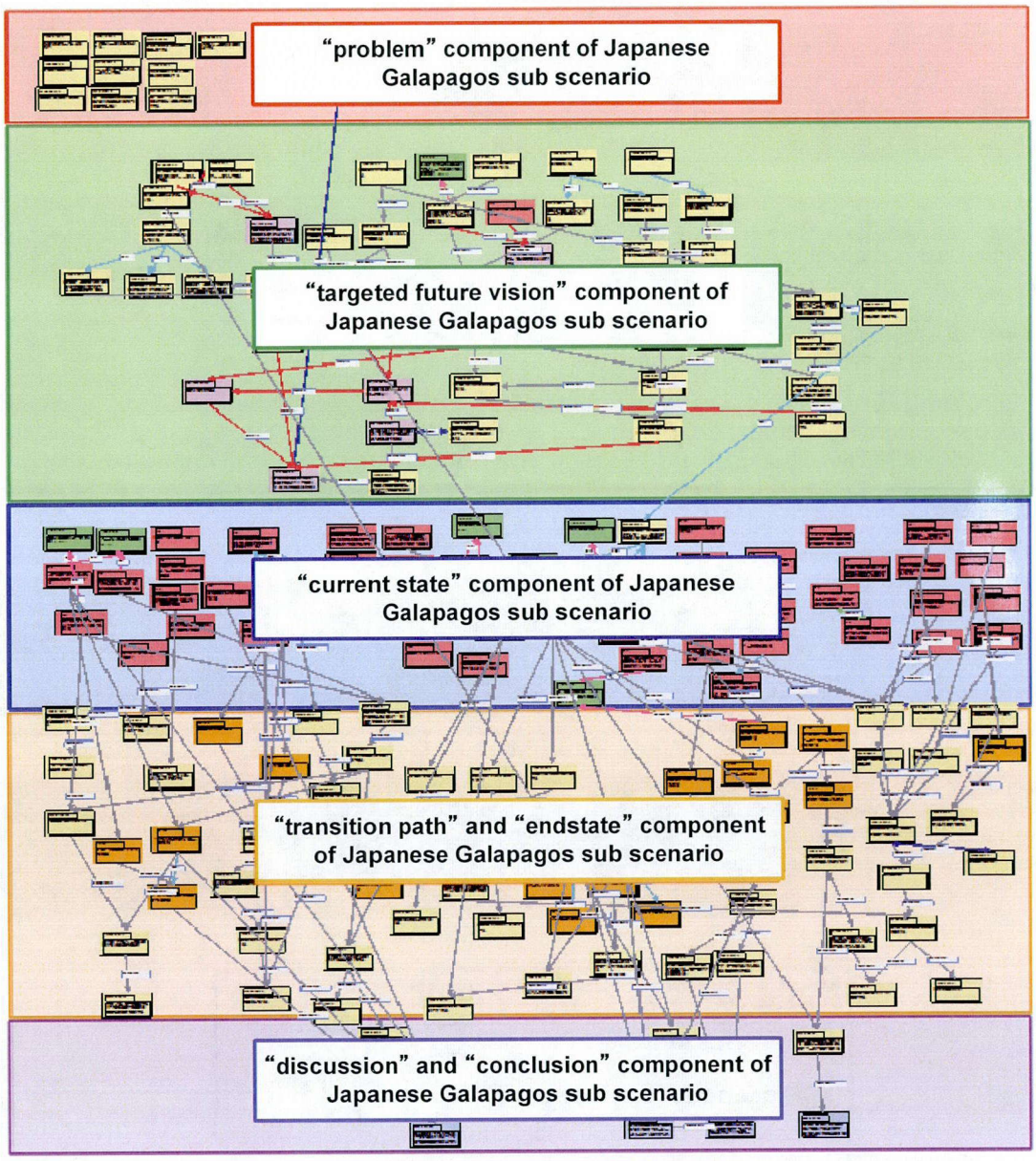

図 **7.4.11** ジャパニーズガラパゴスシナリオの **Expression Level** の全体

Step 9: シナリオの結論付け

持続可能製造業シナリオ全体のまとめとして，各サブシナリオの結論を考察・分析して結論を導出した．このシナリオでは，持続可能製造業シナリオから分かったことと，そのシナリオの結果からのメッセージを結論としてまとめた．

資源・エネルギーに関しては，製造業破綻シナリオの結果も受けて，「自然エネルギー，電気自動車が銅の資源制約によって普及が進まない場合がある」という結果や，「資源の国内蓄積と，自然エネルギー開発によるエネルギーの国内自給自足体制の実現」が必要で

あるという提言を記述した．製造業の在り方については本ケーススタディで記述したとおり，「日本は自国の強みを活かして自信を持つべきだ」「グローバル経済に安易に迎合すべきではない」といった内容を日本の製造業に向けた最終メッセージとして導出した．

表 7.4.8 持続可能製造業シナリオの結論

結論の分類	結論
Material and energy supply	• Dissemination of renewable energy appliances and electric vehicle may be holded back by resource depletion of copper. • Main driver of copper depletion is economic growth and increasing population. • Local energy and resource supply, local recycling can be a countermeasure to resource depletion. • In long term, human being experience resource constraint, so they need to take countermeasure to it, such as using alternative materials, developing resource circulation, and decreasing the material usage. • To resource constraint, Japanese government should construct stable domestic resource circulation system. To realize it, it should reserve materials and construct a standalone energy supply system by 2030s.
Vision of manufacturing industry	• Japanese manufacturing industry must be proud of its advantage. • They should not pander on global economy. • Japanese manufacturing technology can be an advantage to compete in global market. • Japanese manufacturing industry should shift to key devices, and materials, which require high technology. • Problems in Japan are on the cutting edge of the world, inversely, they can be a business chance to Japanese manufacturing industry. • Japanese cultural uniqueness can be accepted in the world.
Form of employment	• Evalution system of contribution to society via creating jobs should be founded. • Long-term employment is required for inheriting techniques of engineers. • Japanese manufacturing industry need to find the best solution for inherting techniques of engineers, including work sharing and long-term employment.

7.4.5　Phase 4 シナリオ文書の記述

Step10: シナリオ文書の記述

本実行例の最後のステップとして，構造化シナリオに含まれる個々の記述の文章内における順番を入れ替えて文章として読みやすくなるように書き換え，シナリオ文書を出力した．記述したシナリオ文書の結論部分(表 7.4.8 の内容に相当)を以下に示す．

“以上述べてきたように，実現可能な日本製造業の持続可能な将来像が複数存在しうることが分かり，今後，日本の製造業が進むべき道についての示唆が得られた．それらの将来像で共通して言えることは，日本の製造業は技術力に関して自信を持つべきであり，やり方次第で十分に世界の中で戦えるということである．そのポテンシャルを生かすうえでは，グローバル経済におけるボリュームゾーンでの競争にあえて背を向け，日本の強みである独自の高付加価値を生かせる市場，製品で勝負をするということが考えられる．そのために，最先端技術を導入した基幹部品や，素材の製造にシフトするということが考えられる．また，日本の抱える少子高齢化といった問題は逆にビジネスチャンスになりうる．この問題を解決するような製品，ビジネスに注力することで，世界のニーズを先取りすることができると考えられる．日本人，日本文化の独特の感性が，今後世界に受け入れられる可能性がある．それに伴って国内向けに開発した製品がグローバル製品になる可能性もある．

日本の製造業は苦手とする新たなビジネスモデルの創出をあきらめて，既存の技術の継承，研鑽に力を注ぐべきである．そのために，国全体の職業教育制度の見直し，各企業における技術マニュアルや技術データベースの構築，技術者養成のためのバディ教育制度などの人材育成が重要となる．また，製造業全体としては，中小企業が持っているノウハウを喪失させないような仕組みづくりが重要となる．世界のニーズと日本のシーズを結び付けるような仕組みの構築が必要となる．

本シナリオにおける製造業の持続可能性の定義，すなわち雇用を通じた幸福の実現に対しては，雇用を創出したことに対する社会貢献を評価する仕組みを作ることと，日本の雇用形態の変革が必要となる．特に前述の技術の継承を実現しようと思えば，長期的な雇用を通じた技術教育が重要となる．”

第8章 考察

第 8 章では，前章で示した実行例の結果に基づいて，本研究で提案した持続可能社会シナリオの設計支援方法論の有効性について考察を行い，それとともに課題を抽出する．

8.1 3S Simulator とシナリオ設計支援方法論の関係

本節では3S Simultorにおける本研究の成果の位置付けについて考察する.3.1節において，3S Simulator の実現に向けた課題として以下の 6 つを定義した.

1. 論理構造を明確化した形式でシナリオを表現すること
2. シナリオとシミュレータを再利用可能とすること
3. 新規にシナリオを作成すること
4. シナリオを分析すること
5. シナリオ間の関係を明らかにすること
6. コンテンツを集積すること

これらの課題のうち，本研究では課題 3 の新規シナリオ作成に関して，具体的なシナリオ設計プロセスを定義した．また，シナリオ設計プロセスを計算機上で実行可能とするために，課題 1 に対応するシナリオの表現手法についても提案した.

実行例において，本研究で提案したシナリオ設計支援方法論を用いて，実際に計算機上でシナリオを設計できることを確かめた.

8.2 シナリオ設計支援のためのシナリオモデル

本研究では，シナリオを計算機上で取り扱うための新しいシナリオの表現方法論を定義した．本研究で提案したシナリオモデルにより，シナリオの「構想」,「記述」,「評価」を計算機上で実行することが可能となった．先行研究で提案されたシナリオの構造的記述法を拡張する形でシナリオモデルを定義することにより，シナリオの文章の記述根拠(例えば，フォアキャスティング型シナリオ設計における対象世界モデルや，バックキャスティング型シナリオ設計におけるロジックツリー)を保存し，根拠と記述の間の関係を明示的に表現することができるようになった．

また，構造的記述法の Scenario Level を，フォアキャスティング型，バックキャスティング型シナリオ設計で考慮する必要があるシナリオ内における時間的な推移を表現できるように改良することで，後述するようにサブシナリオの展開においてその中における時間的な推移を明示的に把握しながら記述することを可能とした．

本研究で提案するシナリオモデルの利用によって，シナリオの再利用性を向上させることが可能となる．本シナリオモデルでは，シナリオの構想モデルによってシナリオ設計の中途状態や構造化シナリオ内の文章やシミュレーションの設定根拠を表現する．これにより，シナリオの設計者は設計プロセスの任意の箇所に戻って設計をやり直すことが容易となる．このモデルを用いて設計されたシナリオを 3S Simulator のシナリオアーカイブ(3.5.3 項参照)に格納することで，シミュレータと構造化シナリオを再利用する what-if 分析(3.5 節参照)だけでなく，問題と構想モデルを再利用して異なるシナリオを記述するといったことが第三者にとって可能となる．すなわち，このシナリオモデルによってシナリオを従来に比べて多様な形で再利用することが可能となる．

8.3 フォアキャスティング型シナリオ設計支援方法論

本研究では，フォアキャスティング型のシナリオ作成に対して，計算機上における具体的なシナリオ設計プロセスを定義した．この設計プロセスに対して，本研究では既存のシナリオ作成プロセスにおいて広く用いられている Morphological Analysis 手法を用いて将来の構想を支援する手法を統合した．更に本研究では，前述のシナリオモデル上において，構想した内容に基づいてシナリオの記述を支援する新しいシナリオ作成技法を提案し，シナリオ設計プロセスに対して組み込んだ．

実行例において，提案したフォアキャスティング型シナリオ設計支援手法を用いて，実際に電気自動車が普及した将来の日本社会と自動車業界の様子をシナリオに書くことができた．日本の自動車業界と自動車が用いられる社会を因果ネットワークでモデル化し，その中で Morphological analysis を実行することでシナリオに含むサブシナリオを決定し，サブシナリオに対応する部分モデルをガイドラインとして各サブシナリオを，構造化シナリオの形で展開する部分において計算機支援が適用できた．

全体モデルからキードライバーを抽出し，その変化を考えることによって対象世界の将来への変化を探索し，探索した変化に合わせて対象世界モデルを詳細化することによって，構想すべき内容を段階的に詳細化することができた．

実行例においては，表 7.3.6 に示す 2 つの変化を特定し，それぞれに対して対象世界モデルを詳細化した．キードライバーの抽出においては，影響度と不確定性の定量評価による支援を試みた．実行例では表 7.3.5 のように，評価結果が上位の要素をキードライバーとすることで，自動車の使われ方の異なる 2 つの日本社会の将来を描き，社会の変化によって日本の自動車業界に生じる 2 つの異なる変化を構想することができた．

また，シナリオ設計支援システムを用いて因果ネットワークから構造化シナリオを展開することで，シナリオを，記述内容の根拠となる対象世界モデルを参照し，明示的に関係づけながら構造的に記述できるようになった．実行例においては，全体モデル上で探索した将来の変化に基づいて，図 7.3.4 のように構造化シナリオの Scenario Level の構造を導出できた．

また，シナリオ内に含まれる時間的推移を構造的記述法内の Scenario Level の "scenario_component" ノードへの分類で区別しながら，部分モデルをガイドラインとして用いて，シナリオの詳細を構造化シナリオの Expression Level に展開できた．実行例においては，表 8.3.1 のように両サブシナリオとも全体の約 50%の記述を部分モデルより展開することができた．部分モデルより展開しなかったノードのうち，定義上部分モデルから展開しないサブシナリオの結論に相当する "conclusion" ノードと "literature" ノードを除くと，約 40%のノードが構造化シナリオ内で新たに設定されたノードとなった．この中には，部分モデル内で想定されていなかった要素に関する記述や，部分モデル内の要因についてのサブシナリオ間で共通の仮定のうち，各サブシナリオ内の記述には関連せず，

全体の結論の導出に用いた物であった．

他方で，本手法は同一形状の因果ネットワーク上でのパラメータ変化を探索するものであり，これはすなわち記述対象世界の構造が現在から将来まで変化しないと想定していることを意味する．したがって，記述対象世界の構造の時間的な変化，すなわちこれは因果ネットワーク構造の幾何的変化を取り扱ったフォアキャスティング型シナリオの設計を支援することはできない．これに対しては，記述対象世界の時間的な構造変化を表現する構想モデルのサブモデルを定義して構想を行うことにより支援が可能となると考えられる．

表 8.3.1 部分モデルと構造化シナリオの関係

Node	*Nodes in Expression Level*	
	Urban centralization sub scenario	Compact city sub scenario
Expression Level nodes related to nodes in partial model	52 (50%)	55 (48%)
Expression Level nodes not related to nodes in partial model	53 (50%)	60 (52%)
Expression Level nodes not related to nodes in partial model excluding “conclusion” nodes and “literature” nodes	39 (37%)	45 (39%)
Total	105 (100%)	115 (100%)

8.4 バックキャスティング型シナリオ設計支援方法論

本研究では，バックキャスティング型のシナリオ作成に対して，計算機上における具体的なシナリオ設計プロセスを提案した．本研究では，バックキャスティング型シナリオ設計プロセスを因果的順方向，逆方向展開の組み合わせによって整理し，ロジックツリーを用いてシナリオの構想と記述を支援する新しいシナリオ作成技法を提案してシナリオ設計プロセスの詳細を定義した．

実行例において，提案した方法論を用いて持続可能製造業シナリオを実際に設計することができた．まず，将来の目標を明確に設定し，その必要条件を因果的逆展開することによって将来像や移行過程の骨格となる出来事，条件などの連なりを抽出することができた．ここでは対象世界そのものを表現するパラメータから構成される因果ネットワークではなく対象世界の状態同士の因果関係を表現したロジックツリーを用いることによって，記述対象世界の現在の構造に関係なく，目標達成に必要な条件を考えることができた．8.3 節で述べたように因果ネットワークをベースにシナリオを書く場合は対象世界の構造が変動しないことを前提とするが，ロジックツリーでは対象世界の構造に関係なく対象世界上に起こっていることの連鎖を考えるため，現在と離れた将来を描くことができる利点がある．

ロジックツリーからキーイベントを抽出することにより，異なる目標の達成パターンを表すサブツリーを抽出し，それに基づいてシナリオに含むサブシナリオを決定し，それぞれのサブシナリオの概要を記述することができた．実行例においては，図 7.4.2 のように 7 つのキーイベントを抽出することにより，6 つの異なる持続可能製造業の将来像を描いたサブシナリオを，持続可能製造業シナリオ内に作成した．

構造化シナリオを用いてシナリオを記述する際に，各サブシナリオの移行過程を現状から因果的順方向に展開することにより，最初に目標とする将来像で想定していなかった，将来像への移行過程の結果生じる副作用などについて検討することができた．実行例においては，図 8.4.1 に示すように，高齢化社会に適応するための製品開発について移行過程を展開していった結果として，持続可能性の実現の障害となる「資源，エネルギー消費量の増大」が導出された．この結果として持続可能製造業シナリオが目標とする持続可能な製造業の実現のためには，高齢化だけでなく省エネルギー化についても配慮する必要があることを見いだした．

フォアキャスティング型シナリオ設計の時と同様に，本手法でもシナリオの構想の際に構築したロジックツリーから各サブシナリオの Expression Level の構造を導出する支援を行った．実行例においては，表 8.4.1 に示すように，約 34.5%の Expression Level のノードがロジックツリーから展開された．

シナリオの詳細展開の際に，シナリオ内に存在する時系列情報を“scenario_component”ノードの分類として定義し，それによって Expression Level のノードで表されるシナリオ内の個々の記述を分類することによって，シナリオの記述において記述箇所の把握を支援する

ことが可能となった.

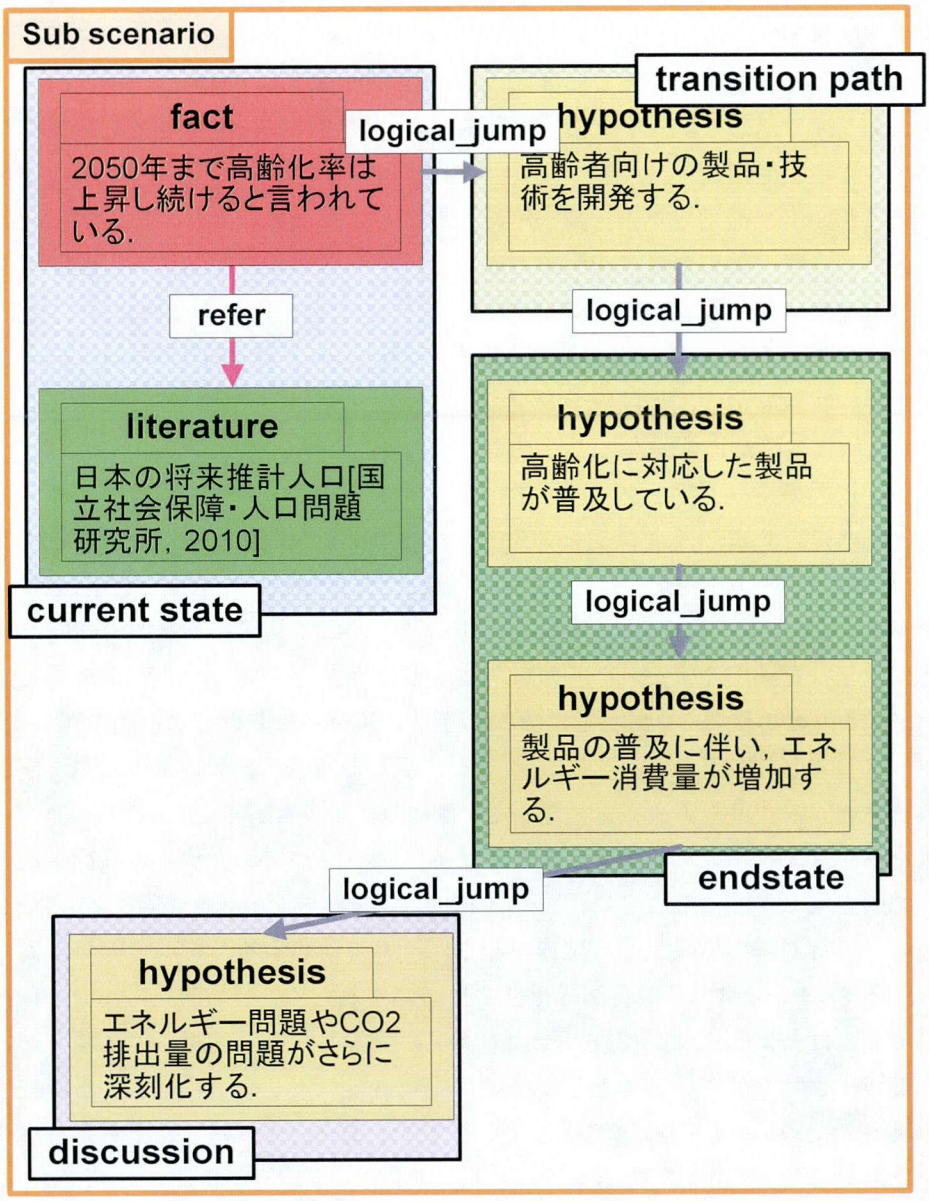

図 **8.4.1** サブシナリオの移行過程の展開例

表 8.4.1 ロジックツリーから展開された記述とされなかった記述

Node	*Nodes in Expression Level*
	Sustainable manfacturing scenario
Expression Level nodes deployed from logic tree nodes	119(34.5%)
Expression Level nodes nod deployed from logic tree nodes	226(65.5%)
Total	345 (100%)

第9章 結論

第 9 章では，本研究の結論と今後の課題について述べる．最後に，今後の持続可能社会シナリオ設計に関する展望を述べる．

9.1 本研究の結論

本研究では，持続可能社会の実現に向けたシナリオの設計支援方法論を提案し，その支援方法論を実装したシナリオ設計支援システムを開発した．提案した方法論ではシナリオの設計を「構想」,「記述」,「評価」のサイクルとして定義した．さらにシナリオ設計の計算機支援を実現するための対象表現として，設計の過程におけるシナリオの構想によって生み出される情報まで含めて表現し，シナリオの記述結果と相互に関連付けるシナリオモデルを提案した．シナリオモデルに対する設計操作としてフォアキャスティング型のシナリオ設計プロセスと因果ネットワークを用いてその設計プロセスを支援する方法論，及びバックキャスティング型のシナリオ設計プロセスと，ロジックツリーを用いてその過程を支援する設計支援手法を提案した．

以上のように提案した方法論の実行例として，フォアキャスティング型で「電気自動車普及社会シナリオ」を，バックキャスティング型で「持続可能製造業シナリオ」を設計した．「電気自動車普及社会シナリオ」では因果ネットワークを用いてシナリオの構成を決め，詳細を展開する過程が支援された．また，「持続可能製造業シナリオ」においても同様に．ロジックツリーを用いてシナリオの設計を支援できることを確かめた．

9.2 今後の課題

3S Simulator を今後発展させ，持続可能社会の実現に向けたシナリオを設計するために解決すべき課題として，以下の 2 点が挙げられる．

- シナリオの再利用手法の提案

本研究によって，シナリオの設計プロセスが定義されると同時に，設計プロセスの各段階を表現するモデルが提案された．このモデルによって，シナリオの文章を計算可能化した構造化シナリオのみではできなかったようなシナリオの多様な形の再利用が可能になると考えられる．再利用の形式として考えられるのは，設計者自身があるシナリオの設計の途中で大きく修正を行う場合や，設計者とは異なる第三者がシナリオモデルの要素を再利用して新しいシナリオを作る場合が考えられる．

- 俯瞰的な持続可能社会像の設計方法の提案

3S Simulator では 3.1.2 項で述べたように異なるシナリオ間を関係づけることによって俯瞰的な持続可能社会像を明確化することを最終的な目標としている．本研究で提案したシナリオモデルにより，これまでシナリオ文書や構造化シナリオの形で表現されてきたシナリオの背後にある情報，例えばシナリオ設計者が記述対象世界をどのようにモデル化しているかといった情報を表現することができるようになった．これにより，3S Simulator を用いた俯瞰的持続可能社会シナリオの作成に対して，これまでと異なる新しいアプローチを取ることが可能になると考えられる．

9.3 本研究の展望

本研究の展望として，3S Simulator を用いた持続可能社会シナリオ設計の普及が挙げられる．先行研究と併せて，3S Simulator は持続可能社会シナリオの表現方法論と作成方法を明確に定義している．3S Simulator を今後世の中に普及させていくことにより，それらの表現方法論と作成方法論がシナリオ研究のデファクトスタンダードになり，異なるシナリオ研究者や地域のステークホルダーなど，シナリオに関心を持つ多様な人々の間で，持続可能社会シナリオをベースとしたコミュニケーションが今よりも容易になることが期待される．すなわち，持続可能社会の実現に向けた議論や具体的な行動を，シナリオを通じて喚起することにより，3S Simulator は持続可能社会の実現に貢献できるものと考えられる．

謝辞

本論文を書き上げるまでに多くの人のお世話になりました．この場を借りてお礼を差し上げたいと思います．

第一に指導教員の梅田靖教授には，学部4年のときに梅田研究室に配属になって以来，6年間に渡ってご指導を頂きました．研究の内容に関するディスカッションにつきあっていただくだけでなく，研究の進め方，論文の書き方，プレゼンテーション資料の作り方，果ては研究者としての心構えまで，決して要領の良くない私に根気よくご指導頂きました．

福重真一准教授には，研究だけでなく，研究室生活などについて，様々な相談に乗っていただきました．また，長い研究室生活を穏やかに楽しくに過ごすうえで，先生の優しい笑顔は欠かせないものでした．また，准教授には本論文の査読も担当していただきました．

本論文の査読を担当していただきました，下田吉之教授(環境・エネルギー工学専攻)，藤田喜久雄教授(機械工学専攻)に深く感謝申し上げます．

本研究を進めるにあたり，様々なアドバイスを頂きました槌屋治紀氏(㈱システム技術研究所)，小林英樹氏(㈱東芝)，木村文彦教授(法政大学)，藤本淳教授(千葉工業大学)，増井慶次郎氏(産業技術総合研究所)，近藤伸亮氏(同左)，松本光崇氏(同左)，高本仁志氏(同左)に深く感謝いたします．

梅田研究室で本研究をともに行いました木下裕介氏，西山武志氏，山崎泰寛氏，松安亮典氏，廣崎真希氏，和田春菜氏，小林和博氏，井上裕太氏，三宅岳氏，大路夏生氏とは，研究を進めるうえで不可欠なディスカッションを，楽しくさせてもらいました．

他の研究室のメンバーとは，公私ともに様々な話をし，長い時間を一緒に過ごしました．お陰さまで楽しく充実した研究室生活を送ることができました．

様々な事務手続きでお世話になりました事務補佐員の山下佳子さん，元事務補佐員の津田奈津美さん感謝いたします．

最後に，研究生活を支えてくれた家族に，感謝の意を表したいと思います．「道楽だ」と言い切って快く背中を押してくれたおかげで，6年間思い切り研究に打ち込むことができました．

参考文献

[1] McNeill, W., H.著，増田義郎 訳，佐々木昭夫 訳：世界史　上・下，中公文庫 マ 10-3，中央公論新社，大阪，2008.

[2] Meadows, D. H., Randers, J., and Meadows, D.: *The Limits to Growth*, Universe Books New York, 1972.

[3] 吉川弘之：テクノグローブ　「技術的地球」と「製造業の未来」，工業調査会，東京，1993.

[4] 安井至：市民のための環境学入門，丸善，東京，1998.

[5] World Commission on Environment and Development (WCED): *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, http://www.un-documents.net/our -common-future.pdf, 1987.

[6] Daly, H. E.: *Economics in a Full World*, Scientific American, September 2005, 2005.

[7] 松岡譲，原沢英夫，高橋潔：“地球環境問題へのシナリオアプローチ，”土木学会論文集，No.678/VII-19，2001，pp. 1-11.

[8] International Panel on Climate Change (IPCC): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of IPCC*, Cambridge University Press, New York, 2007.

[9] International Energy Agency (IEA): *World Energy Outlook 2012*, IEA Publications, Paris, 2012.

[10] International Energy Agency (IEA): *Energy Technology Perspectives 2010*, IEA Publications, Paris, 2010.

[11] 西岡秀三編著：日本低炭素社会のシナリオ　二酸化炭素 70%削減の道筋，日刊工業新聞社，東京，2008.

[12] Tomiyama, T., “The Post Mass Production Paradigm,” Proceedings of EcoDesign '99: First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan, 1-3 February, IEEE Computer Society, Danvers, MA, USA, 1999, pp. 162-167.

[13] インバースマニュファクチャリングフォーラム監修：インバース・マニュファクチャリングハンドブック　ポストリサイクルの循環型ものづくり，丸善，東京，2004.

[14] 梅田靖：“持続可能社会シナリオシミュレーションの必要性とアプローチ”，エコデザイン2008　ジャパンシンポジウム講演論文集，A12-1，12月11日-12日，東京，2008，CD-ROM.

[15] 木下裕介：“持続可能社会シナリオの構造化・分析方法論“，2010 年度大阪大学大学院機械工学専攻博士論文，2010.

[16] 木下裕介，山崎泰博，水野有智，福重真一，梅田靖：“持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第1報)ー構造的なシナリオの記述に基づく論理構造の分析ー”，精密工学会誌，Vol.75，No.8，2009，pp. 1029-1035.

[17] 木下裕介，山崎泰寛，水野有智，福重真一，梅田靖：“持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第2報)－シナリオとシミュレータの接続による動的シナリオの作成－”，精密工学会誌，Vol.76，No.6，2010，pp. 694-699.

[18] 木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖：“持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第4報)　－what-if分析による派生シナリオの作成手法－”，精密工学会誌，2012．(in press)

[19] Glenn, J. and Futures Group International: “13. Scenarios,” *Futures Research Methodology-V.2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., 2003.

[20] Kahn, H., and Weiner, A. J.: *The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years*, The Macmillan Co., New York, USA, 1967.

[21] DeWeerd, H. A.: *Political-Military Scenarios*, RAND Paper P-3535, RAND Corporation, Santa Monica, USA, 1967.

[22] Peterson, G. D., Cumming, G. S., and Carpenter, S. R.: “Scenario Planning: a Tool for Conservation in an Uncertain World,” *Conservation Biology,* Vol.17, No.2, 2003, pp.358-366.

[23] van der Heijden, K: *Scenarios The Art of Strategic Conversation 2nd Edition*, John Wiley & Sons, Chichester, 2005.

[24] 原圭史郎・梅田靖編著，大阪大学環境イノベーションデザインセンター監修：サステイナビリティ・サイエンスを拓く－環境イノベーションへ向けて－，大阪大学出版会，大阪，2011.

[25] Gallopin, G., A. Hammond, P. Raskin and R. Swart: Branch Points: Global Scenarios and Human Choice. Polestar Series Report no. 7, Stockholm Environment Institute, Boston, MA., 1997.

[26] Milbrath, L.W.: Envisioning a Sustainable Society: Learning Our Way Out. SUNY Press, Albany, N.Y., 1989.

[27] Raskin, P., Monks, F., Riberto, T., van Vuuren, D., and Zurek, M.: “Global Scenarios in Historical Perspective,” Findings of the Scenarios Working Group (ed.), *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios, Millennium Ecosystem Assessmment Series Bolume 2: Scenarios,* Island Press, Washington, D.C, 2005, pp. 35-44.

[28] 小宮山宏編：サステナビリティ学への挑戦，岩波書店，東京，2007.

[29] Alcamo, J: “Scenarios as tools for international environmental assessments,” *Environmental issue report No 24*, European Environment Agency, Copenhagen, 2001.

[30] Jiang K., Morita T., Masui T., Matsuoka Y.: “Global long-term greenhouse gas mitigation emission scenarios based on AIM,” *Environmental Economic Policy Study*, Vol.3, No.2, 2000, pp. 239-254.

[31] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Special Report on Emissions Scenarios (SRES) Summary for Policymakers*, IPCC, 2000.

[32] 「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム：2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討，2007，http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-76/ref01.pdf.

[33] International Energy Agency (IEA): *World Energy Outlook 2009*, IEA Publications, Paris, 2009.

[34] Carlsson-Kanyama, A., Dreborg, K.H., Moll, H.C., Padovan, D.: "Participative backcasting: A tool for involving stakeholders in local sustainabliity planning," *Futures*, vol. 40, 2008, pp. 34-46.

[35] Glenn, J.C.: "14 Participatory Methods," *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millenium Project, Washington, D.C., 2003.

[36] Dreborg, K.H.: "ESSENCE OF BACKCASTING," *Futures*, Vol. 28, No. 9, 1996, pp. 813-828.

[37] van Notten, P.W.F., Rotmans, J., van Asselt, M.B.A, and Rothman, D.S.: "An updated scenario typology," *Futures,* Vol. 35, 2003, pp. 423-443.

[38] Börjeson, L., Hojer, M., Dreborg, K.H., Ekvall, T., and Finneveden, G.: "Scenario types and techniques: Towards a user's guide," *Futures*, Vol. 38, 2006, pp. 723-739.

[39] Schwartz, P.:The Art of the Long View Planning for the Future in an Uncertain World, Currency DoubleDay, NewYork, 1991.

[40] Jäger, J., Rothman, D., Anastasi, C, Kartha, S., and van Notten, P.: "Scenario Development and Analysis," *GEO Resource Book: A Training Manual on Integrated Environmental Assessment and Reporting*, UNEP and IISD, Winnipeg, 2007.

[41] Wack, P.: "Scenarios: Uncharted Waters Ahead," *Harvard Business Review*, vol. 63, 1985, pp. 73-89.

[42] Robinson, J. B.: "Futures under glass: A Recipe for People Who Hate to Predict," *Futures*, Vol.22, August, 1990, pp. 820-842.

[43] Anderson, K. L.: "Reconciling the electricity industry with sustainable development: backcasting - a strategic alternative," *Futures*, Vol. 33, 2001, pp. 607-623.

[44] Mander, S. L., Bows, A., Anderson, K. L., Shackley, S., Agnolucci, P., and Ekins, P.: "The Tyndall decarbonisation scenarios - Part I: Development of a backcasting methodology with stakeholder participation," *Energy Policy*, Vol. 36, 2008, pp. 3754-3763.

[45] Kok, K., van Vliet, M., Bärlund I., Dubel, A., and Sendzimir, J.: "Combining participative backcasting and exploratory scenario development: Experiences from the SCENES project," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 78, 2011, pp. 835-851.

[46] Dortmans, P. J.: "Forecasting, backcasting, migration landscapes and strategic planning maps," *Futures*, Vol. 37, 2005, pp. 273-285.

[47] Bishop, P., Hines, A., and Collins, T.: "The current state of scenario development: an overview of techniques," *foresight*, Vol.9, No.1, 2007, pp.5-25.

[48] Coyle, R. G.: 19. "Morphological Forecasting - Field anomaly relaxation (FAR)," *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., 2003.

[49] Sterman, J. D.: Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World, Irwin McGraw-Hill, NewYork, 2000.

[50] Ward, E., and Schriefer, A. E.: "Dynamic Scenarios: System Thinking Meets Scenario Planning," Fahey, L., and Randall, R. M. (eds.), *Learning from the future*, John Wiley & Sons, NewYork, 2003, pp. 140-156.

[51] O' Brien, F.A.: "Scenario Planning – lessons for practice from teaching and learning," *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, 2004, pp. 709-722.

[52] Weihrich, H.: "Daimler-Benz's Move towards the Next Century with the TOWS Matrix," *European Business Review*, Vol. 93, 1993, pp. 4-11.

[53] Albert, C.: "Participatory Scenario Development for Supporting Transitions towards Sustainability," *Proceedings of 2008 Berlin Conf. on the Human Dimensions of Global Environmental Change "Long-Term Policies: Governing Social-Ecological Change,"* 2008.

[54] Umeda, Y.: "Sustainable Society Scenario Simulator Toward Sustainable Manufacturing (1st Report) – Needs and Approaches to Sustainable Society Scenario Simulation –," *Proceedings of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, OS1M-3, Sapporo, Japan, Dec 7-9, 2009, CD-ROM.

[55] R. Eckstein: *XML Pocket Reference*, O'Reilly & Associates Inc., Sebastopol, USA, 1999.

[56] ハーバート・シルト著，株式会社テック・インデックス訳，矢嶋聡監修：独習 C# 第 2 版，翔泳社，東京，2007.

[57] 吉川弘之，冨山哲男：設計学―ものづくりの理論―，放送大学教材 84876-1-0011，放送大学教育振興会，東京，2000.

[58] Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., and Yoshikawa, H.: "Modeling Design Process," *AI Magazine*, Vol. 11, No. 4, AAAI, Palo Alto, CA, USA, 1990, pp. 37-48.

[59] G・ポール，W・バイツ共著，ケン・ワラス編，設計工学研究グループ[訳]，工学設計=体系的アプローチ，培風館，東京，1995.

[60] ナイジェル・クロス著，荒木光彦監訳，別府俊幸・高橋栄共訳：エンジニアリングデザイン[製品設計のための考え方]，培風館，東京，2008.

[61] Moran, T. P., and Carroll, J. M.: *Design Rationale Concepts, Techniques, and Use*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah, 1996.

[62] 池田和明，今枝昌宏：実践　シナリオ・プランニング[不確実性を利用する戦略]，東洋経済新報社，東京，2002.

[63] Horcombe, M. W., Stein, J. K.: *PRESENTATIONS FOR DECISION MAKERS Third Edition*, John Wiley and Sons. Ltd, Chichester, 1996.

[64] JIS C5750-4-4:2011，ディペンダビリティ　マネジメント―第 4-4 部：システム信頼性のための解決技法―故障の木解析(FTA)，日本規格協会，2011.

[65] Mizuno, Y., Kishita, Y., Wada, H., Kobayashi, K., Fukushige, S., and Umeda, Y.: "Designing

Sustainable Manufacturing Scenarios Using 3S Simulator," *Proceedings of EcoDesign 2011: 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, A3-05, Kyoto, Japan, Nov 30-Dec 2, 2011, pp. 88-93.

[66] Inoue, Y., Kishita, Y., Fukushige, S., Kobayashi, H., and Umeda, Y.: "Resource Risks of Copper in Sustainability Scenario," *Proceedings of EcoDesign 2011: 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, A3-08, Kyoto, Japan, Nov 30-Dec 2, 2011, pp. 100-104.

[67] 林良祐：世界一のトイレ ウォシュレット開発物語，朝日新聞出版，東京，2011.

発表論文

※博士学位論文と関連のある論文には，*印を付した．

原著論文

1. *和田春菜，木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖："持続可能社会に向けたバックキャスティング型シナリオ作成手法の提案"，日本機械学会論文集(C 編)．(in press)
2. 木下裕介，廣崎真希，水野有智，和田春菜，福重真一，梅田靖："持続可能社会に向けた長期戦略立案のためのビジネス戦略シナリオの設計支援"，日本機械学会論文集(C 編)，Vol. 78，No.796，2012，pp. 3866-3880.
3. 木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖："持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第4報) ーwhat-if分析による派生シナリオの作成手法ー"，精密工学会誌，Vol.78，No.11，2012，pp. 985-991.
4. *水野有智，木下裕介，和田春菜，福重真一，梅田靖："持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第3報) ーフォアキャスティング型シナリオ設計支援手法ー"，精密工学会誌，Vol.78，No.9，2012，pp. 798-804.
5. 木下裕介，山崎泰寛，水野有智，福重真一，梅田靖："持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第2報)ーシナリオとシミュレータの接続による動的シナリオの作成ー"，精密工学会誌，Vol.76，No.6，2010，pp. 694-699.
6. 木下裕介，山崎泰寛，水野有智，福重真一，梅田靖："持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第1報)ー構造的なシナリオの記述に基づく論理構造の分析ー"，精密工学会誌，Vol.75，No.8，2009，pp. 1029-1035.

国際学会講演論文

1. *Mizuno Y., Kishita, Y., Wada, H., Kobayashi, K., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Proposal of Design Support Method of Sustainability Scenarios in Backcasting Manner," *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, Chicago, IL, USA, 12-15 Aug., 2012, DETC-2012-70850.
2. Kishita, Y., Hirosaki, M., Mizuno, Y., Wada, H., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Supporting Scenario Design in Planning Long-term Business Strategies Based on Sustainability Scenarios," Dornfeld, D.A. and Linke, B.S. (Eds.), Leveraging Technology for a Sustainable World - *Proceedings of 19th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2012*, Springer, Heidelberg, Germany, 2012, pp. 25-30.
3. *Mizuno, Y., Kishita, Y., Wada, H., Hirosaki, M., Kobayashi, K., Fukushige, S., Umeda, Y.,

"DESIGNING SUSTAINABLE SOCIETY SCENARIOS USING FORECASTING," *Proceedings of 18th International Conference on Engineering Design ICED11*, Copenhagen, Denmark, 15-18 Aug., 2011, No.5, pp. 49-59, The Design Society.

4. *Wada, H., Kishita, Y., Mizuno, Y., Hirosaki, M., Fukushige, S. and Umeda, Y., "Proposal of a Design Support Method for Sustainability Scenarios - 1st Report: Designing Forecasting Scenarios," Proceedings of 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2011, Braunschweig, Germany, May 2-4, 2011, pp. 189-194.
5. Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Development of Sustainable Society Scenario Simulator - Connecting Scenarios with Associated Simulators," *Proceedings of 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2010*, Hefei, China, May 19-21, 2010, pp. 402-407.
6. Mizuno, Y., Kishita, Y., Yamasaki, Y., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Structural Description Method of the Sustainable Society Scenarios for Scenario Design," *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED)*, Stanford, California, Aug 24-27, 2009, pp. 2-475, CD-ROM.
7. Kishita, Y., Yamasaki, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Development of Sustainable Society Scenario Simulator - Structural Scenario Description and Logical Structure Analysis," *Proceedings of 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2009*, Cairo, Egypt, May 3-6, 2009, pp. 361-366.

国際学会講演論文

1. Hirosaki, M., Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S., and Umeda, Y., "Business Strategy Planning Based on Sustainable Society Scenarios," Proc. of 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Kyoto, Japan, 30 Nov. - 2 Dec., 2011, C3-07, pp. 444-449, Springer.
2. *Mizuno, Y., Kishita, Y., Wada, H.,, Kobayashi, K., Fukushige, S., Umeda, Y., "Designing Sustainable Manufacturing Scenarios using 3S Simulator," Proc. of 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Kyoto, Japan, 30 Nov. - 2 Dec., 2011, A3-06, pp. 88-93, Springer.
3. Mizuno, Y., Kishita, Y., Fukushige, S. and Umeda, Y., "Sustainable Society Scenario Simulator toward Sustainable Manufacturing (3rd Report) - Dynamic Connection between Scenarios and Simulators -," Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, OS-1M-5, Sapporo, Japan, Dec 7-9, 2009, CD-ROM.
4. Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S. and Umeda, Y., "Sustainable Society Scenario Simulator

toward Sustainable Manufacturing (2nd Report) - Scenario Structuring for Logical Structure Analysis -," Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, OS-1M-4, Sapporo, Japan, Dec 7-9, 2009, CD-ROM.

5. Kishita, Y., Mizuno, Y., Fukushige, S. and Umeda, Y., "Formalizing Sustainability Scenarios for Supporting Composition and Scientific Analysis," Proc. of 2009 RISS International Conference: Sustainability Transition - International Research Initiatives towards Resource-Circulating Societies, Osaka, Japan, July 22-23, 2009, pp. 109-112.

国内学会講演論文

1. *水野有智，木下裕介，和田春菜，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シナリオシミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 11 報)—ケーススタディに基づく有効性の検証—”，精密工学会秋季学術講演会講演論文集，B47，北九州，9 月 14 日-16 日，2012，CD-ROM.
2. *和田春菜，木下裕介，水野有智，廣崎真希，小林和博，福重真一，梅田靖，“持続可能社会に向けたシナリオ作成支援手法の提案（第 2 報）—バックキャスティングシナリオの作成支援—”，日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会講演論文集，3306，米沢，10 月 21 日-23 日，2011，pp. 589-594，USB Storage.
3. 木下裕介，水野有智，廣崎真希，和田春菜，福重真一，梅田靖，“持続可能社会に向けたビジネス戦略シナリオの設計支援”，日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会講演論文集，3303，米沢，10 月 21 日-23 日，2011，pp. 571-576，USB Storage.
4. 水野有智，木下裕介，和田春菜，小林和博，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 10 報)—バックキャスティング型シナリオの設計支援—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，L82，金沢，9 月 20-22 日，2011，CD-ROM.
5. *和田春菜，木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 9 報)—因果ネットワークを用いた新規シナリオの作成—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，C03，埼玉，3 月 16 日-18 日，2011，pp. 175-176，CD-ROM.
6. 木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 8 報)—what-if 分析に基づくサブシナリオの作成支援—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，C02，埼玉，3 月 16 日-18 日，2010，pp. 173-174，CD-ROM.
7. 木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖，“持続可能社会に向けたシナリオの構造的

記述法の提案”，第 19 回設計工学・システム部門講演会，沖縄，10 月 28 日-30 日，2009，pp. 577-582，CD-ROM.

8. *水野有智，木下裕介，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 7 報)—シナリオの構造記述に基づいた新規シナリオの作成—”，精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，N67，神戸，9 月 10 日-12 日，2009，pp. 1021-1022.
9. 山崎泰寛，木下裕介，水野有智，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 6 報)—シミュレータのアーカイブを用いた動的シナリオの作成—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，I74，東京，3 月 11 日-13 日，(2009)，pp. 673-674.
10. 木下裕介，山崎泰寛，水野有智，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 5 報)—シナリオの基底を用いた論理構造の分析—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，I73，東京，3 月 11 日-13 日，2009，pp. 671-672.
11. 山崎泰寛，水野有智，木下裕介，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シナリオの構造的記述法の提案(第 2 報)－シナリオとシミュレータの接続－”，エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム，A12-4，東京，12 月 11 日-12 日，2008，CD-ROM.
12. 水野有智，木下裕介，山崎泰寛，福重真一，梅田靖，“持続可能社会シナリオの構造的記述法の提案(第 1 報)－シナリオ記述と論理構造の分析－”，エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム，A12-3，東京，12 月 11 日-12 日，2008，CD-ROM.
13. 木下裕介，山崎泰寛，水野有智，福重真一，梅田靖，松本光崇，藤本淳，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 4 報)—シナリオとシミュレータの接続—”，精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，H62，仙台，9 月 17 日-19 日，2008，pp. 619-620.
14. 山崎泰寛，梅田靖，福重真一，木下裕介，水野有智，“持続可能社会シナリオシミュレータのためのシナリオ構造記述法の提案”，2008 年度日本機械学会年次大会講演論文集，3314，横浜，8 月 3 日-7 日，2008.
15. 水野有智，西山武志，山崎泰寛，木下裕介，梅田靖，福重真一，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 3 報)—語句レベルからの因果関係の抽出—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，J63，川崎，3 月 17 日-19 日，2008，pp. 861-862.
16. 西山武志，山崎泰寛，水野有智，木下裕介，梅田靖，福重真一，“持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案（第 2 報）—シナリオレベルからみたシナリオ構造の分析—”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，J62，川崎，3 月 17 日-19 日，2008，pp. 859-860.