

# 技術者倫理教育における事例研究の因果関係解析ツール

Causal Relation Analysis Tool of the Case Study in the Engineer Ethics Education

鈴木 好 夫<sup>\*1</sup>  
Yoshio SUZUKI

森 田 桂 輔<sup>\*1</sup>  
Keisuke MORITA

安 居 光 國<sup>\*2</sup>  
Mitsukuni YASUI

棚 田 一 郎<sup>\*1</sup>  
Ichirou TANADA

藤 木 裕 行<sup>\*3</sup>  
Hiroyuki FUJIKI

青 柳 学<sup>\*1</sup>  
Manabu AOYAGI

In engineering ethics education, the virtual experiencing of dilemmas is essential. Learning through the case study method is a particularly effective means. Many case studies are, however, difficult to deal with because they often include many complex causal relationships and social factors. It would thus be convenient if there were a tool that could analyze the factors of a case example and organize them into a hierarchical structure to get a better understanding of the whole picture. The tool that was developed applies a cause-and-effect matrix and simple graph theory. It analyzes the causal relationship between facts in a hierarchical structure and organizes complex phenomena. The effectiveness of this tool is shown by presenting an actual example.

Keywords : Engineering Ethics, Hierarchical Structure Model, Case Example Analysis, Case Study

キーワード：技術者倫理，階層構造モデル，事例分析，事例研究

## 1. はじめに

技術者倫理教育は、ここ数年の間に多くの高等教育機関で開講されており、技術者教育に欠かせない教科の一つとして定着してきた。教材の内容も次第に整理され、多くの著作も出版されてきており、各学協会でも独自にこの問題に取り組むようになってきている<sup>1)</sup>。技術者倫理の有効な教育方法の研究も進んでおり、たとえば札幌順氏は、技術者倫理教育の主目的を「倫理的問題を含んだ現実的な事例を提示し、受講者に倫理的ジレンマを仮想体験する機会を与え、その解決方法の考察を促す、いわゆる事例研究法 (case method) である」と述べている<sup>2)</sup>。その際、「技術の実践に関わる倫理的な問題を明晰にかつ批判的に分析する能力」の大切さを指摘している。外国における事例研究は、さまざまな文献が出版され<sup>3)</sup> 授業実践の中でも広く活用されているが、国内における事例研究は極めて少ないのも事実である。

技術者倫理における事例研究は、科学技術の進歩や価値観の多様化、そして社会機構の巨大化が進む中で、教材としてその取り扱いが複雑になっている。なぜなら国内の事例の場合、その大半は企業倫理とも言うべ

き事例が多く、しかも企業犯罪にかかわっている例が多い。その取り扱い方を間違えると、技術者離れや企業不信を助長することにもなりかねない。

室蘭工業大学では、技術者倫理教育としてオムニバス形式の講義を実施している。その際、学生に興味のある事例研究の課題を選ばせ、10人程度のグループを作って問題の分析やその解決方法などの調査研究を発表させている。こうした事例研究に際して、事例の構造を全体的に把握し、その因果関係を明らかにする作業は問題解決をする上で重要な作業である。問題の重要な構成要素を抽出すること、さらに原因と結果の因果関係を明らかにすることは、技術者倫理における事例研究の重要なスキルである。特に初めて技術者倫理を学ぶ学生は、複雑な社会現象を扱うとき、入り口段階でこうしたスキルを習得せずに間違った解決方向にいくケースが極めて多い。こうしたスキルの獲得に役立つツールがあれば、教員側の講義に使えるだけでなく学習者間の協同学習にも有用である。

本論文は、有向グラフ理論と総合影響マトリックスを活用した構造モデル化ツールを開発したものである。開発したツールを利用して実際の技術者倫理における事例研究に適用したところ、有効であることがわかった。本解析ツールは、実際の授業の場でも活用できるだけでなく、e-Learningの中に組み込んだ活用も可能である。

平成17年10月7日受付

\*1 室蘭工業大学電気電子工学科

\*2 室蘭工業大学応用化学科

\*3 室蘭工業大学機械システム工学科

## 2. 階層構造のモデル化の概要

### 2. 1 階層構造モデル化

社会問題の構造を明らかにする手法は、KJ法や水平思考法など、今までいくつかの提案がなされている。なかでも、問題解決を目的にしたモデル化手法としてのISM (Interpretive Systems Model) 法が有名である<sup>4)</sup>。

この手法は1974年に米国のWarfield氏が提唱したものである。特徴としては、主題についてのサブ問題(要素項目)を選定し、項目間の関係の有無を判断した上で、有向グラフを作成し構造モデルの意味を分析するものである。さらに問題の構成要素とその関係を可視化することで、容易に問題の全体像把握ができる。この手法は、近年の計算機の普及と相まって、その効果と有用性が期待されている。つまりISM手法は、コンピュータを媒介としてわれわれが描く社会問題などのような複雑な問題のイメージをシステム構成要素の比較によって明確な姿に浮かび上がらせ、全体像を一目で把握させようとするものである。要素間の相互関係は、「階層構造モデル」と呼ばれる多階層の有向グラフにより図示され、それが再び人間の直感や想像力を刺激して問題の本質に迫る一種のマン・マシン系である。これらの関係を図1に示す。

### 2. 2 モデル化手法の手順

この構造解析手法の特徴は、複雑で不明確な問題に対してその要素・構造・範囲・内容などが漠然とした段階から出発して、次第に問題を明らかにしていく過

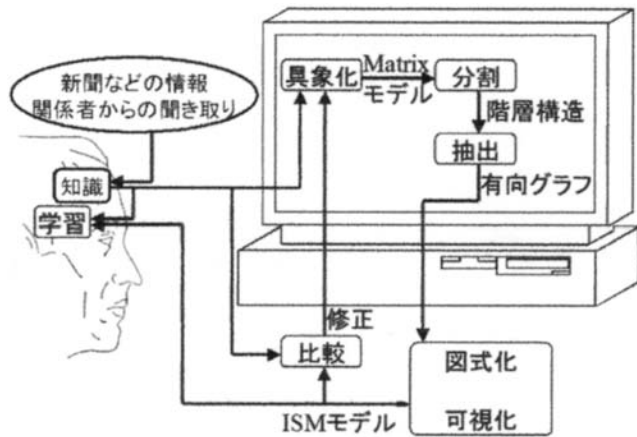


図1 ISMモデル

項目		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<1>	国と電力のあり方		0	1	0	0	0	0	3
<2>	閉鎖性	0		1	0	0	0	0	3
<3>	情報公開不足	0	1		0	0	0	0	0
<4>	経済性重視	0	0	0		0	0	0	3
<5>	反原発運動	0	3	2	0		0	0	0
<6>	絶対安全を求める意識	0	3	2	0	0		0	0
<7>	マスコミの影響	0	2	2	0	0	0		3
<8>	トラブル隠し	0	0	0	0	0	0	0	

図2 因果関係マトリックス (東電トラブル隠し)

程そのものに本質的な特徴を持っている。例として東京電力におけるトラブル隠しを用いる。

図2、図3はそれぞれ東電トラブル隠しにおける、因果関係マトリックスと階層分類前の有向グラフである。このようなマトリックス、有向グラフの作成過程および解説を以下に述べる。

この過程は一般に①構成要素の抽出、②要素間の関係付け、③構造モデルの作成、④モデルの解釈と検討、という手順がふまれる。以下、①~④について順次説明する。

#### (1) 構成要素の抽出

対象とする事象にかかわるキーワード(問題の要因や原因)をグループ討論(または個人でもよい)で抽出する。KJ法などの手法を用い、グルーピングして項目ごとに整理しまとめる。構成要素の抽出は最重要課題であり、後に例題で示すように、この抽出が十分検討されていないと不完全な結果が出ることは言うまでもない。したがって実際のプロセスでは、この作業に多くの労力と時間を費やす必要がある。またこの項目数は、少ないと因果関係があいまいになり、逆に多すぎても構造分析には適さない。全体像を把握する点から、筆者らの経験では、項目数nとして10程度が適当である。本システム上ではnは任意としている。

#### (2) 要素間の関係付け

項目間の関係は因果関係、影響度、重要度などさまざまなファクターが考えられるが、本システムでは因果関係に基づいたマトリックスを作成した。因果関係マトリックスは、縦横に項目を並べj行目k列目の欄に、j項目からk項目への因果関係を記載したものである。関係の有無を記載する際に関係の強さを加味しない、つまり重み付けをしないうで表示する場合には0(無関係)と1(関係する)で表示する方法がある。この場合には、評価者の価値観が入りにくいというメリットがある。また後に示す例のように強い関係を(3)、普通のを(2)、弱い関係を(1)、無関係を(0)として、重み付けを4値で示す方法もある。この場合には、より項目間の複雑な関係が加味されるが、主観が挿入されやすい問題も内包している。もちろん関係の有無

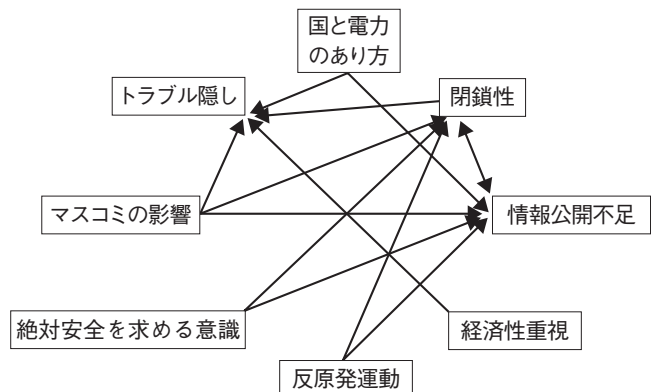


図3 階層分類前の有向グラフ (東電トラブル隠し)

や、その強さの評価はグループ討論や個人で決める場合などいろいろなやり方が可能である。

図2は、東電トラブル隠しを例とした因果関係マトリックスの例である。行の項目〈1〉から〈8〉が原因となり、列の(1)から(8)が関連する結果に対応している。このマトリックスにおいて項目の順序は任意でよい。列には行と同じ項目が順次配列されている。強い関係の(3)、普通の関係の(2)、弱い関係の(1)、無関係の(0)、の重み付けによる4値で因果関係が示されている。

### (3) 構造モデルの作成

各項目をノードとして表現し、項目jと項目kの間に因果関係がある場合にノードjからノードkに矢印が引かれることにより、因果関係マトリックスは図4のように表現しうる。

図4は有向グラフを例示しており、各アルファベットは項目、矢印は因果関係の有無を表わしている。

図3は東電トラブル隠しを例にした有向グラフである。この有向グラフでは各項目間の相互の因果関係を見ることができる。

因果関係マトリックスにおいて、直接の因果関係の強さを表現した行列を直接影響行列Yとし、各項目間の間接的な影響を評価するために、行列Yにおいて各行ごとに要素の値の和をとり、そのうちの最大値で全要素を除いたものを正規化直接影響行列Xと呼ぶ。行列Xの2乗のjk要素は、項目jから別の項目を1つ経由して項目kに影響する間接影響の強さを表す。したがって間接影響まで含めた総合影響行列Zは以下の式で表される。

$$Z = X + X^2 + X^3 + \dots = X \cdot (1 - X)^{-1} \quad (1)$$

図5左図は、間接的な関係も考慮した総合影響行列である。この行列において項目1に注目すると、図2の因果関係マトリックスでは項目2には影響を与えて

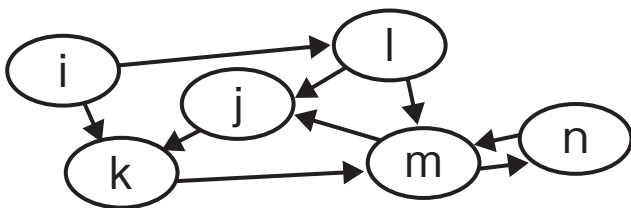


図4 有向グラフ

総合影響行列	階層分割
1 2 3 4 5 6 7 8	
1: 国 0.0 0.12 0.37 0.0 0.0 0.0 0.0 0.37	レベル1: 項目8
2: 開 0.0 0.12 0.37 0.0 0.0 0.0 0.0 0.37	
3: 情 0.0 0.37 0.12 0.0 0.0 0.0 0.0 0.12	レベル2: 項目2 項目3 項目4
4: 経 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.33	
5: 反 0.0 0.49 0.49 0.0 0.0 0.0 0.0 0.16	レベル3: 項目1 項目5 項目6 項目7
6: 絶 0.0 0.49 0.49 0.0 0.0 0.0 0.0 0.16	
7: マ 0.0 0.49 0.49 0.0 0.0 0.0 0.0 0.49	
8: ト 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0	

図5 影響度と階層分割

いないが、総合影響行列ではある程度影響を与える結果となっている。これは項目1が項目3に影響を与え、項目3が項目2に影響を与えるために起こったものである。

図5右図は、項目の階層分割を表示したものである。各レベルがそれぞれの階層を示しており、レベルごとに項目が割り振られている。こうすることで、事例の因果関係を示す有向グラフを作成する際に全体像把握が容易になるが、この図の使用方法は次章で示す。

### (4) モデルの解釈と検討

作成した事例の有向グラフについて、そのモデルの解釈と検討を行うものである。これについて後の章で検討する。

## 3. 本解析ツールによる事例研究の例題

技術者倫理における事例研究の例題を本解析ツールに応用した場合について、その結果と有効性を示す。

図6は、ISM法による本解析ツールの入力画面である。図6左図のStartボタンをクリックすると図6右図の要素数選択画面が現れ、Exitボタンは本ツールの終了ボタンである。前章で述べたように、10項目程度が適当なので本例の場合には8を選択し、Nextボタンをクリックする。すると図7の各項目名を入力する画面が現れる。ここで確定したキーワードを入力し、それぞれの因果関係の有無、強さを入力する。

図7は入力した結果であり、①キーワード入力画面

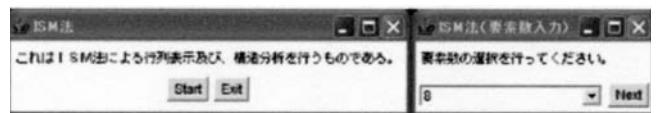


図6 制作ソフト紹介 (1)



図7 制作ソフト紹介 (2)

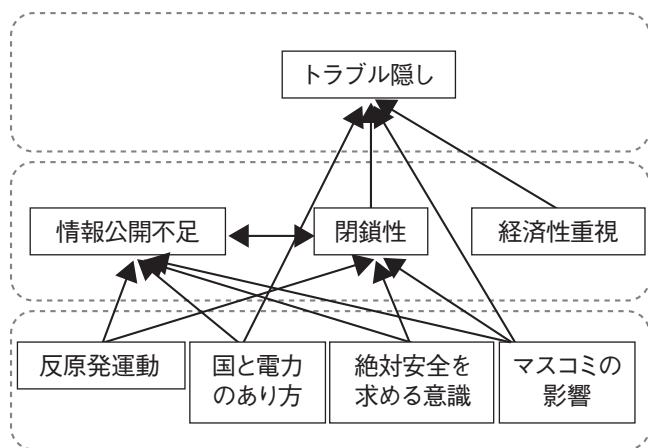


図8 階層分類後の有向グラフ（東電トラブル隠し）

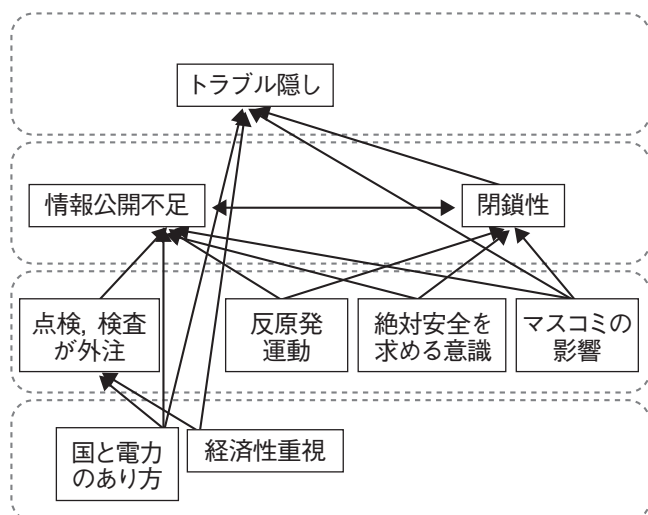


図9 追加項目を加えた有向グラフ（東電トラブル隠し）

と②因果関係入力画面である。

図3の東電トラブル隠しを例とした有向グラフにおいてわかることは、各項目間の相互の関係だけであり、問題全体の因果関係を把握することは容易ではない。そこで本解析ツールを使用した場合の結果を図8に示す。

図8は、本解析ツールを利用した場合の階層構造モデルの結果である。これは先に示した図5右側の階層分類を元に、各項目において因果関係のある項目同士を矢印で結ぶことで作られた有向グラフである。図8を見ると、全体の結果である「トラブル隠し」という項目が最上階になっている。一つ下の階層には「情報公開不足」、「閉鎖性」、「経済性重視」が分類された。そして最下層には、「反原発運動」、「国と電力のあり方」、「絶対安全を求める意識」、「マスコミの影響」が分類された。この結果は項目同士の因果関係によって一義的に決まり、原因と結果に基づく相対的な階層構造を示している。階層に分割するのは、複雑な因果関係を把握しやすくするためである。

この階層分類は図3の有向グラフと同じことを表現しているが、階層に分割することで原因と結果が一方向で示され直感的な問題の全体像の把握が容易となっ

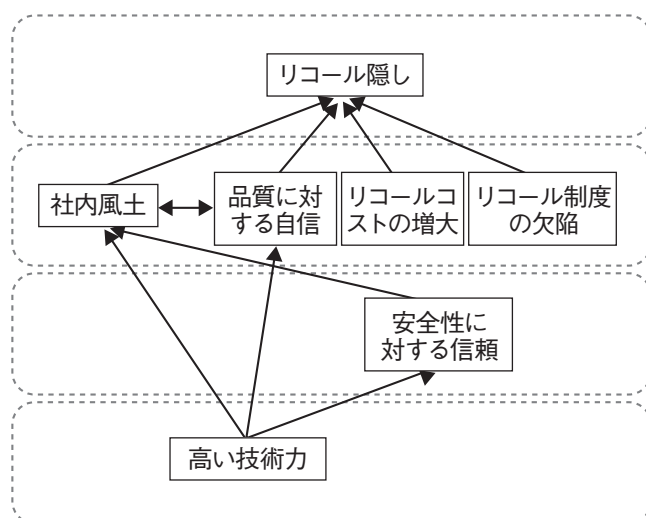


図10 三菱自動車リコール隠し

ている。またこの図は、階層の上部にあればその問題の結果、階層の下部にあればより多くの項目の原因であると見ることができる。

図9は、先に述べた事例に「点検、検査が外注」という項目を新たに追加した場合の例である。この項目が「情報公開不足」に影響を与えたと考えた場合、図8と比較すると階層が4つになり、そこに「国と電力のあり方」、「経済性重視」が分類された。このことは、これらの項目が結果に与える影響が減少したと見るのではなく、問題全体の中でより最下層の原因であると取ることができる。つまり、この例のように特定の要素が全体に与える影響・因果関係などを、階層の組み替えなどを通して可視化することができる。

図10は、学生の討論により「三菱自動車リコール隠し」を例とした場合の階層分割を行った結果である。項目は「リコール隠し」、「社内風土」、「品質に対する自信」、「リコールコストの増大」、「リコール制度の欠陥」、「安全性に対する信頼」、「高い技術力」となった。しかし社内の「品質に対する自信」、「安全性に対する信頼」という項目は類似しており、かつ「社内風土」、「高い技術力」のような抽象的な内容の項目を入れたために、このような階層構造になったものと考えられる。

図11は、技術者倫理の事例研究として頻繁に使われる、チャレンジャー号事件について解析を行った結果である。

図12は図11と同様の事例であるが、階層構造の比較のため意図的に一つ間違い入力して解析を行った結果である。それは、「NASAの過密な打ち上げ計画」という項目が、「欧州などのライバルの出現」に影響を与えているというものである。打ち上げ計画がライバルの出現に影響を与えるはずのない間違いであるのだが、このような間違いをすることで階層構造がどのような変化をするか検討する。

結果は一目瞭然で、「欧州などのライバルの出現」と

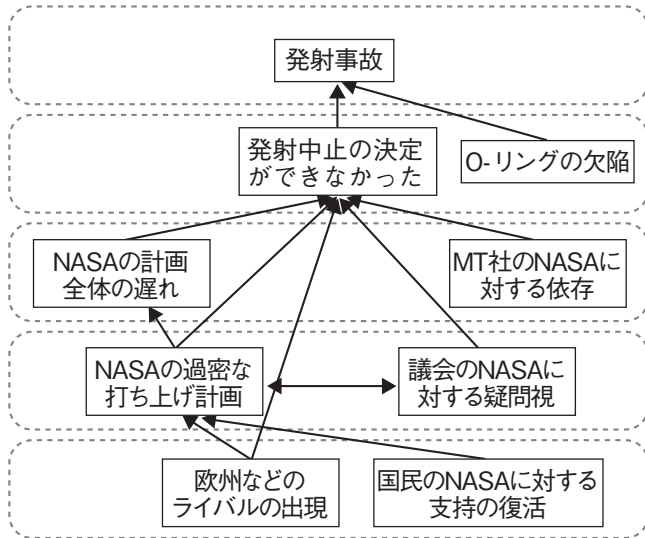


図11 チャレンジャー号事件

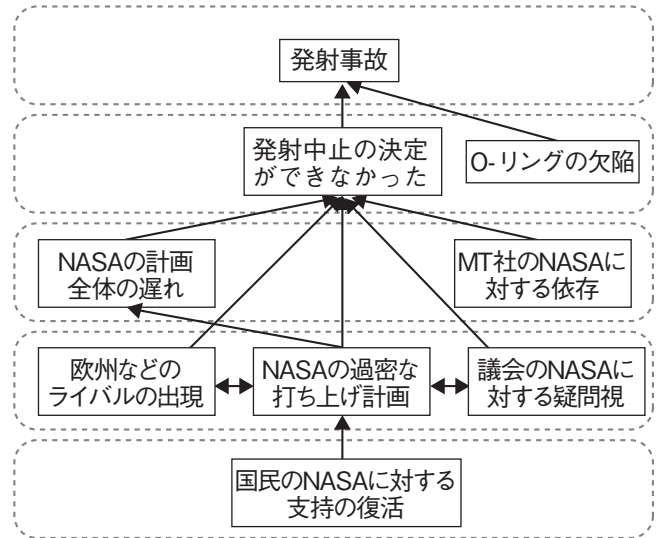


図12 チャレンジャー号事件（意図的な間違い）

いう項目は階層が一段上がっている。このことは関係する二つの項目が相互に影響を及ぼしているのではなく、一方が原因で一方が結果であることを示している。

今の事例では二つの項目間について見ているが、問題が複雑で項目が多数の場合において、問題の構造の全体像を直感的に把握するには図3のような階層分割をしない有向グラフでは、すぐには判断が付きにくい。しかし図12のような階層構造では、二つの項目の関係が一方的な原因、結果の関係であることは一目瞭然である。

#### 4. 考察と検討

今回開発した構造モデル化手法のツールは、対象とする技術者倫理における事例研究の基礎的な知識があれば誰でも簡単に利用できる。また前章で示したように、事例研究において階層分割された問題の構造図が作成されるため、問題の全体像を把握するためには有用なツールであると考えられる。特にグループ学習などでは、要点の抽出及び因果関係を整理、解析する上で、きわめて有効である。そして他人にわかりやすくする点で教える側の説明、特に多くの要素が複雑に絡み合う例題には効果を発揮することがわかった。その際の最大の問題は、キーワードの正確な抽出であると言える。

#### 5. まとめ

技術者倫理教育で重要な事例研究の解析ツールとして、構造モデル化による事例の全体構造把握可能な解析ツールを開発した。本解析ツールは、技術者倫理の有用な教具として多いに活用できる。

今後の課題は、実際の事例研究での蓄積を重ねることである。そして多くの授業実践の中で活用し、より有効な活用ができるように改善をしていきたい。また現在構築中である、e-Learningシステムによる技術者倫理教育にこの解析ツールを組み込むことでよりよい

システムの開発を検討中である。

#### 参考文献

- 1) 例えば、電気学会特別委員会 技術者倫理検討委員会, ホームページアドレス [http://www.iee.or.jp/honbu/rinri\\_index.html](http://www.iee.or.jp/honbu/rinri_index.html)
- 2) 札野 順: 高等教育機関における技術者倫理教育 - 目的, 方法, 課題 -, 化学工学, 67 - 4 (2003), 9 - 11
- 3) チャールズ・ハリス他: 科学技術者の倫理 - その間が得方と事例 -, 丸善株式会社 (1998), 1 - 458
- 4) 榎木義一, 河村和彦: 参加型システムズ・アプローチ, 日刊工業新聞社 (1981), 33 - 75
- 5) 寺野寿郎: システム工学入門, 共立出版株式会社 (1985), 101 - 160
- 6) 服部嘉雄, 小沢孝夫: グラフ理論解説, 昭和堂 (1978), 25 - 51
- 7) 堀井秀之: 問題解決のための「社会技術」, 中央公論新社 (2004), 95 - 125
- 8) 豊田武俊, 堀井秀之: 構造モデル化手法の社会問題への適用, 社会技術研究論文集, Vol. 1, 16 - 24, (2003. 10), 16 - 24

#### 著者紹介



鈴木 好夫

最終学歴 1970年北海道教育大学札幌卒  
 専門分野 電気機器工学  
 所属 室蘭工業大学電気電子工学科教授  
 学位 工学博士  
 所属学会 電気学会, 日本工学教育協会