

地球環境を配慮した MOT の実践

野 口 博 司

概 要

産業の革命は技術革新によりもたらされ、企業や個人の経済全体を豊かにし、生活自体も便利にすることは、これまでの人類の進化の構図とおりである。しかしその一方で、技術にはその功績と脅威の二面性を有しており、現在の数々の地球環境問題は、技術の脅威の部分が顕在化してきた結果と考えることもできる。それゆえに21世紀の経営において、企業経営者は technocracy（技術主義）と technophobia（技術恐怖症）という両面の間でバランスをとり、リスク回避を進めながら、業務における意思決定を行う必要がある。後者には製品安全などの側面もあるが、今回は地球環境への影響を取り上げた。

技術経営のあり方についての抽象的なあるべき論の提言を避け、ある企業の製品開発における地球環境への影響度調査結果を解析して、地球環境を配慮した技術経営の具体的な実施例を紹介する。地球環境へのマイナス部分に対してどのように配慮しているかを主成分分析で解析した結果、原料での無害化、省資源・省エネ化、廃棄ゼロ化の3つの軸が主要構造であることがわかった。また地球環境に影響するプロセス要因間の関係を示した連関図から、グラフ理論の DEMATEL 分析を用いて、プロセス要因の構造を導いたところ、設計段階で無害原料の使用とリサイクル化を図ることが主要な要因であることがわかった。これらを基に、製品収益面も考慮した今後の経営のあり方について述べる。

キーワード：地球環境、技術経営、製品のライフサイクル、主成分分析、DEMATEL 分析

1. は じ め に

技術革新は長期的な経済成長を促進する原動力であることはいうまでもない。

地球環境を配慮した MOT の実践

しかし医薬品でみられるような薬効の影に潜む副作用があり（例サリドマイド剤のコンテルガンによる奇形障害）、さらに技術影響を広く捉えると、生産性を向上させる技術は雇用に対する脅威となる。また我々が容易に移動できる手段である自動車は、限りある資源の石油を莫大に消費し、排気ガス（CO₂、NO_x、SO_x）による大気汚染や、地球温暖化現象を加速している。品質欠陥およびクレームの発生により企業の存続が危うくなるように、企業の社会的責任が問われる21世紀では、技術革新のプラス面だけを主導にした経営は成り立たなくなってきた。

これからの企業経営者は technocracy（技術主義）と technophobia（技術恐怖症）という両面の間でバランスをとり、リスク回避を進めながら、業務における意思決定を行う必要がある。technophobia（技術恐怖症）の側面は、製品安全などのような技術固有の問題に関わることが多いが、それは個々の技術の議論となり、一般的な技術経営論を論じるには困難である。

そこで、リスク回避の技術経営をわかりやすくするために、今回は、技術恐怖の部分として、製品の地球環境に対する影響度を取り上げた。製造業A社の製品開発における地球環境への配慮に対する調査結果から、製品のライフサイクル（開発、原材投入、製造、使用、廃棄）のどの段階で、どのように地球環境にやさしくする配慮を行っているか主成分分析でその構造を明らかにした。また製品の地球環境に影響を与えるライフサイクルプロセスの要因関連図から、グラフ理論の DEMATEL 分析を活用してプロセス要因の構造を明らかにし、地球環境への影響を軽減する重要な要因も抽出した。これらの解析結果を基に、今後の具体的な技術経営のあり方についても言及する。

2. 製品の地球環境に対するライフサイクル調査と解析

2.1 調査

表1は製造業A社の代表45商品の製品ライフサイクルプロセス（設計、原料投入、製造、輸送、使用、廃棄）における地球環境への影響度を調査したデー

表1. A社の製品ライフサイクルプロセスの調査結果

No	商品名	X1: 設計 軽量化	C2: EcoM 取得	X3: リサイクル の利用率	X4: 有害 物質	X5: 節水 度	X6: エネ ルギー	X7: 騒音・ 振動	X8: 火災 危険度	X9: ホ・ 土壌汚染	X10: 輸送 効率	X11: 簡易 包装	X12: 長期 使用性	X13: リュー クサイクル	X14: 産業 内廃棄	X15: 生分解	X16: ISO9000 の取得	C17: 短期 収益	C18: 長期 収益
1	WBY	10%	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
2	ISB	なし	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
3	KOU	10%	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
4	ISV	なし	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
5	ISS	なし	未取得	10%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
6	TRL	なし	ECO取得	10%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
7	INS	10%	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
8	RNY	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
9	WADM	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
10	SIL	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
11	SBK	30%上	未取得	20%	安全	5%	10%	安全	安全	安全	不要	不要	不要	なし	安全	なし	ISO14000	中	高
12	EXR	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	なし	安全	なし	ISO14000	中	高
13	YS	20%	未取得	10%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
14	YIC	20%	ECO取得	10%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
15	BMP	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
16	BMC	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
17	TRD	30%上	未取得	20%	安全	不要	15%上	安全	安全	問題	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	高
18	HOA	なし	未取得	10%	安全	不要	不要	安全	安全	問題	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	高
19	EKA	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	中	中
20	RE	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	中	高
21	REB	30%上	未取得	なし	安全	不要	5%	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	低	高
22	KTK	20%	ECO取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	未認証	低	高
23	KTM	なし	ECO取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	不要	不要	不要	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
24	DMR	なし	未取得	20%	安全	不要	15%上	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
25	SBE	なし	未取得	30%上	安全	不要	10%	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
26	DMJ	30%上	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
27	TYO	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
28	SBE	30%上	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
29	SBF	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
30	SBL	なし	未取得	20%	安全	不要	10%	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
31	TRZ	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	高
32	IRP	なし	未取得	なし	安全	不要	10%	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	高	高
33	TEY	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
34	TBB	なし	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	問題	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
35	HOE	20%	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	高
36	HOR	20%	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	未認証	中	高
37	HOT	20%	未取得	なし	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	未認証	低	中
38	EXP	30%上	未取得	なし	安全	不要	15%上	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
39	TRB	30%上	未取得	20%	安全	不要	10%	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	低	中
40	TRW	なし	ECO取得	20%	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
41	TRH	なし	ECO取得	30%上	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
42	HOK	なし	ECO取得	30%上	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
43	TEC	なし	未取得	30%上	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	低	高
44	INA	なし	未取得	30%上	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	中
45	SDM	なし	未取得	30%上	安全	不要	不要	安全	安全	安全	改善	改善	改善	可能	安全	なし	ISO14000	中	高

地球環境を配慮した MOT の実践

夕である。

調査は18項目あり、以下その内容を説明する。

「X1：設計軽量化」は、設計段階で製品の軽量化をどれだけ図るかである。％表示は軽量化程度の概況を表したもので、「なし」はほぼ従来と同じ、「10％」はほぼ10％、「20％」はほぼ20％、「30％上」はほぼ30％以上軽量化したことを示す。そこで、「なし」を0、「10％」を1、「20％」を2、「30％上」を3と数値化した。「C2：エコマーク取得」は、商品類型ごとに定められた設定基準を満たしていることを、(財)日本環境協会のエコマーク審査委員会で認定を受け、エコマーク使用契約を締結して取得するものであり、「ECO取得」か「未取得」かになる。「X3：リサイクル原料度」は、原料投入段階でどれだけリサイクル原料を使用したかを示す、％表示はその程度の概況を表したものであり、「なし」はすべて新原料、「10％」はほぼ10％、「20％」はほぼ20％、「30％上」はほぼ30％以上リサイクル原料を使用したことを示す。X1と同様に、「なし」を0、「10％」を1、「20％」を2、「30％上」を3と数値化した。「X4：有害物質度」は、原料にPRTR（Pollutant Release and Transfer Register）法指定の第1種指定化学物質354を使用した程度を示す。有害物質の質と量の両面を考慮し、「重大」は重点管理が必要な化学物質を含み、「問題」は管理必要な化学物質を含み、「少し」は考慮しなければならない程度の化学物質を含み、「安全」は指定の化学物質は含んでいないことを示す。「重大」を0、「問題」を1、「少し」を2、「安全」を3と数値化した。「X5：節水度」、「X6：エネルギー↓」、「X7：製造廃棄物↓」は、製造工程において、水やエネルギー、それに半加工品の製造廃棄量をどれだけ現状から減らしたかを示す。「不変」はほぼ現状と同じで、％は削減程度を示している。そこで、「不変」を0、「5％」を1、「10％」を2、「15％上」を3と数値化した。「X8：大気汚染度」、「X9：水・土壌汚染度」は、製造工程での汚染度を評価したものであり、「X14：廃棄汚染度」は、使用後の廃棄による地球環境への汚染度を評価したものである。「重大」は重点管理を必要とし、「問題」は日常での維持管理に努める必要が

あり、「少し」は定期観測が必要で、「安全」は特別な管理は不要という評価である。「重大」を0、「問題」を1、「少し」を2、「安全」を3と数値化した。「X10：輸送効率」,「X11：簡易包装」,「X12：長期使用度」は、地球環境に対する負荷軽減への改善度合いを評価したものである。「不変」は改善成果出ずで、「少し」は少し成果が出ており、「改善」は成果が認められ、「かなり」は期待以上の成果が得られたことを示す。「不変」を0,「少し」を1,「改善」を2,「かなり」を3と数値化した。「X13：リユース・リサイクル度」,「X15：生分解」はその可能性を評価した。「なし」は不可能,「少し」は一部可能,「可能」はすべて可能,「実施」は実際に行なっていることを示す。「なし」を0,「少し」を1,「可能」を2,「実施」を3と数値化した。「C16：ISO14000の認証取得」は認証取得を受けた工場で製造しているかどうかを示す。すべての項目は、数値の高い方が地球環境にやさしいことを示している。

「C17：短期収益」,「C18：長期収益」は、その商品が短期的または長期的にみて収益貢献が高いか低いかを判断している。

2.2 解析方法

表1は、エコマークやISO14000認証取得の有無の分類を示すカテゴリ項目(C)と影響の度合いを数値化できる項目(X)とが混在している。このようなデータの場合には、カテゴリカル主成分分析を用いることができるが、エコマークやISO14000の認証取得の有無は直接地球環境へ影響を与えるものではない。また、短期収益や長期収益についても地球環境への影響とは別の視点である。したがって、今回は、地球環境への影響度合いを数値化した項目で、いずれの数値も高い方が地球環境にやさしいことを示す「X1：設計軽量化」,「X3：リサイクル原料度」,「X4：有害物質度」,「X5：節水度」,「X6：エネルギー↓」,「X7：製造廃棄物↓」,「X8：大気汚染度」,「X9：水・土壌汚染度」,「X10：輸送効率」,「X11：簡易包装」,「X12：長期使用度」,「X13：リユース・リサイクル度」,「X14：廃棄汚染度」,「X15：生分解」の14項目を用いて、

地球環境を配慮した MOT の実践

製品ライフサイクルの各段階でどのように地球環境にやさしくしているのか、その主成分構造を求めることにした。主成分分析は、解析法としてよく知られている方法なので詳しい説明は行わない。考え方だけ示す。主成分分析は、調査項目間で関係のあるものを集めて項目を要約して整理するための手法である。すなわち、似た項目群と異なる項目群とを分けて、情報のロスをできるだけ少なくし、よく似た項目群を束ねて要約した新しい主成分を合成する手法である。

次に、この14の項目を用いて解析した主成分分析の結果を示す。

2.3 解析結果

表2は、上記の地球環境へ影響がある14の調査項目間の相関係数行列表である。表2より主成分分析で解析した。その結果が表3の固有値の表と、表4の各主成分負荷量の表である。表3より主成分1から主成分3までの累積寄与率が58.39%であり、元のデータが持っている情報の約6割がこの3つの主成分で表せることがわかる。

また表4より各主成分の内容を考察すると、主成分1は、+側で「X8：大気汚染度」、「X9：水・土壌汚染度」、「X4：有害物質度」、「X14：廃棄汚染度」の順で主成分負荷量が大きく、-側で「X7：製造廃棄物↓」が大きい。これより主成分1は、右側へいくほど、原料段階で有害物質を排除することにより、製造での大気・水・土壌汚染を防ぎ、使用廃棄においても汚染度が少なくなる。逆に左側へいくほど、原料段階で有害物質を用いねばならず、製造での汚染度も高くなるので、極力製造段階での中間品などの廃棄を少なくしようとする製品であることがわかる。すなわち第1主成分は、『原料の無害化』の軸といえる。主成分2は、+側で「X10：輸送効率」、「X1：設計軽量化」、「X6：エネルギー↓」、「X11：簡易包装」、「X5：節水度」の順で主成分負荷量が大きく、『省資源・省エネ化を推進する』軸といえる。第3主成分は、+側に、「X13：リユース・リサイクル度」、「X3：リサイクル原料度」、「X15：生分解」の順で主成分負荷量が大きく、『リサイクル・リユース・生分解によるゼロエミッシ

表2. 調査14項目間の相関係数行列表

	X1: 設計軽量化	X3: リサイクル原料度	X4: 有害物質度	X5: 節水度	X6: エネルギー↓	X7: 製造廃棄物↓	X8: 大気汚染度	X9: 水・土壌汚染度	X10: 輸送効率	X11: 簡易包装度	X12: 長期使用度	X13: リース・リサイクル度	X14: 廃棄汚染度	X15: 生分解
X1: 設計軽量化	1	-0.2391	0.2513	0.3284	0.4938	0.1316	-0.0323	0.0513	0.4623	0.2757	-0.1561	-0.0979	0.0314	-0.2980
X3: リサイクル原料度	-0.2391	1	0.2515	0.0797	0.0866	0.0917	0.0479	0.1219	0.0456	-0.0051	0.2499	0.2905	0.1806	0.2322
X4: 有害物質度	0.2513	0.2515	1	0.0397	0.1246	-0.1997	0.6202	0.5688	0.0547	-0.0778	0.0719	0.0522	0.5670	-0.4888
X5: 節水度	0.3284	0.0797	0.0397	1	0.5951	0.3936	0.0808	0.0681	0.2427	0.1754	0.0393	-0.1225	-0.1940	-0.0314
X6: エネルギー↓	0.4938	0.0866	0.1246	0.5951	1	0.3415	-0.1584	-0.1642	0.2740	0.1616	0.2209	-0.0758	-0.0581	-0.1190
X7: 製造廃棄物↓	0.1316	0.0917	-0.1997	0.3936	0.3415	1	-0.2920	-0.2599	0.3857	0.6024	0.1651	0.2376	-0.1784	0.1878
X8: 大気汚染度	-0.0323	0.0479	0.6202	0.0808	-0.1584	-0.2920	1	0.8111	-0.0945	-0.0277	-0.0682	0.0532	0.6030	-0.3998
X9: 水・土壌汚染度	0.0513	0.1219	0.5688	0.0681	0.1642	-0.2599	0.8111	1	0.0327	0.0193	0.0231	0.1281	0.5533	-0.3978
X10: 輸送効率	0.4623	0.0456	0.0547	0.2427	0.2740	0.3857	-0.0945	0.0327	1	0.6581	0.0973	0.1322	-0.0931	-0.1155
X11: 簡易包装度	0.2757	-0.0051	-0.0778	0.1754	0.1616	0.6024	-0.0277	0.0193	0.0327	1	0.0414	0.3360	-0.1066	0.0686
X12: 長期使用度	-0.1561	0.2499	0.0719	0.0393	0.2209	0.1651	-0.0682	0.0231	0.0973	0.0414	1	-0.0517	0.0600	0.0052
X13: リース・リサイクル度	-0.0979	0.2905	0.0522	-0.1225	-0.0758	0.0581	0.0193	0.1281	0.1322	0.3360	-0.0517	1	0.3226	0.3858
X14: 廃棄汚染度	0.0314	0.1806	0.5670	-0.1940	-0.0581	-0.1784	0.6030	0.5533	-0.0931	-0.1066	0.0600	0.3226	1	-0.2929
X15: 生分解	-0.2980	0.2322	-0.4888	-0.0314	-0.1190	0.1878	-0.3998	-0.3978	-0.1155	0.0686	0.0052	0.3858	-0.2929	1

表 3. 固有値の表

主成分 No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	3.363	24.022	24.022
2	2.852	20.372	44.394
3	1.959	13.995	58.389
4	1.422	10.159	68.548
5	0.988	7.058	75.606
6	0.865	6.176	81.782
7	0.675	4.821	86.603
8	0.510	3.644	90.247
9	0.327	2.333	92.580
10	0.294	2.102	94.682
11	0.262	1.871	96.553
12	0.239	1.711	98.264
13	0.147	1.051	99.315
14	0.096	0.685	100.000

表 4. 各主成分の主成分負荷量の値

	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
X1：設計軽量化	-0.0411	0.6638	-0.4381	0.2175	-0.1445
X3：リサイクル原料度	0.1032	0.1085	0.6089	-0.5259	-0.1068
X4：有害物質度	0.7483	0.3907	0.0062	-0.1554	-0.0112
X5：節水度	-0.1968	0.6048	-0.2022	-0.3460	-0.4363
X6：エネルギー↓	-0.2533	0.6473	-0.2423	-0.4558	-0.2063
X7：製造廃棄物↓	-0.5472	0.5270	0.2977	-0.0040	0.0306
X8：大気汚染度	0.8510	0.2002	0.0687	0.0786	-0.1002
X9：水・土壌汚染度	0.8083	0.2699	0.1330	0.0900	-0.0030
X10：輸送効率	-0.2441	0.7126	0.0818	0.2896	0.3035
X11：簡易包装	-0.3205	0.6288	0.3319	0.4400	0.2145
X12：長期使用度	-0.0436	0.1587	0.2169	-0.6195	0.6422
X13：リユース・リサイクル度	0.0136	0.1418	0.8022	0.2617	-0.2449
X14：廃棄汚染度	0.7482	0.1601	0.2983	0.0095	-0.0214
X15：生分解	-0.5356	-0.3124	0.5380	-0.0525	-0.3173

ョン』の軸といえる。

以上より、地球環境への影響を軽減するために、製品のライフサイクルにおける施策の構造は、『原料の無害化』、『省資源・省エネ化』、『廃棄物のゼロ化』の3つであることがわかる。

図 1 は、求めた主成分 1 を横軸に、主成分 2 を縦軸にした図上に 45 の商品の

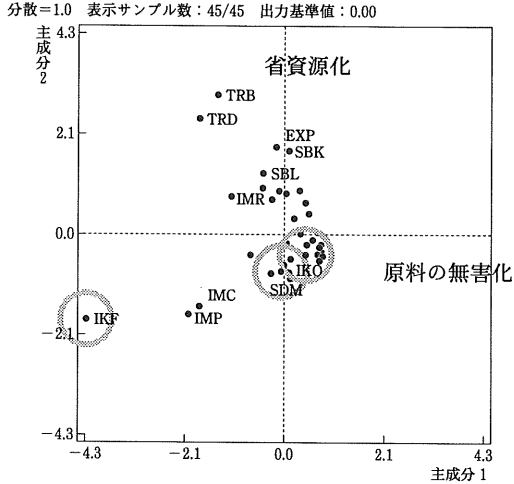


図1. 主成分1と主成分2上の商品位置

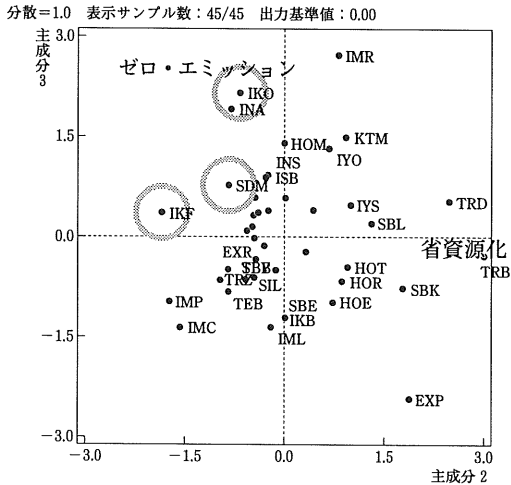


図2. 主成分2と主成分3上の商品位置

位置を示した散布図である。同様に、図2は、主成分2を横軸、主成分3を縦軸にした図上に45の商品の位置を示した散布図である。

図1からは原料が無害化できない商品32. IKFが主成分1の左側によってい

地球環境を配慮した MOT の実践

る。表 1 より 32. IKF の収益をみると短期的には高いが長期的には低い。そこで、企業経営者として technocracy（技術主義）と technophobia（技術恐怖症）という両面でバランスをとり事業展開における意思決定を行うとすると、技術恐怖症を回避して地球環境への影響を低減させ、技術主義の立場からは収益が長期的に期待できるものを選ぶべきであろう。そこで 32. IKF を含み長期的に収益性が低くなる商品について図 1 と図 2 に○をつけてみた。32. IKF 以外で長期的に低収益となるのは、商品 42. IKO、45. SDM である。この IKO と SDM は図 1 より原料の無害化は見込め、図 2 からは廃棄についての問題はない。したがって、42. IKO、45. SDM については、地球環境への負の側面について、それほど注力しなくてよい。しかし、商品 32. IKF は有害原料を含み省資源・省エネ化も進められにくい。また長期的には収益が低くなることから、早期に製品化を断念するほうが好ましいと考えられる。結局、A社は1年以内で 32. IKF の製造販売を中止した。

図 3 と図 4 は、どのような地球環境負荷を軽減した製品に対してエコマークを取得しているかをみたものである。図では、×はエコマーク取得を表し、○は未取得を表している。図 3 より原料が無害であり、図 4 よりは廃棄物ゼロ化（ゼロエミッション）がしやすいものに取得していることがわかる。

また、図 5 は、ISO14000 を認証取得している工場では、製品のライフサイクルプロセスにおいて、どのような地球環境負荷軽減を行っているかをみたものであり、省資源・省エネに取り組んでいるところが多いことがわかる。

次に、A社の環境マネジメントシステム管理者らが考えている製品のライフサイクルプロセスの要因連関図から、DEMATEL 分析により影響程度によるプロセス要因構造を導き、今後の地球環境負荷軽減の鍵となる要因を検討することにした。

分散=1.0 表示サンプル数：45/45 出力基準値：0.00

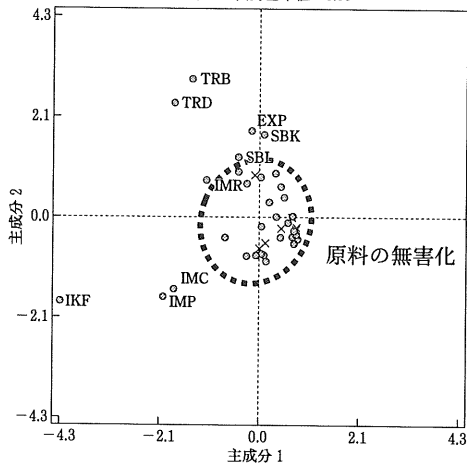


図3. ECO マーク取得品の特徴 1

分散=1.0 表示サンプル数：45/45 出力基準値：0.00

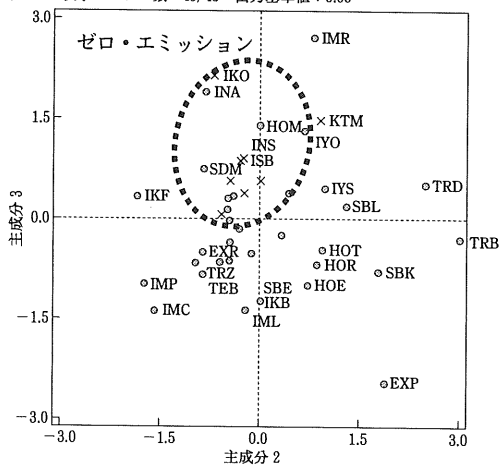


図4. ECO マーク取得品の特徴 2

地球環境を配慮した MOT の実践

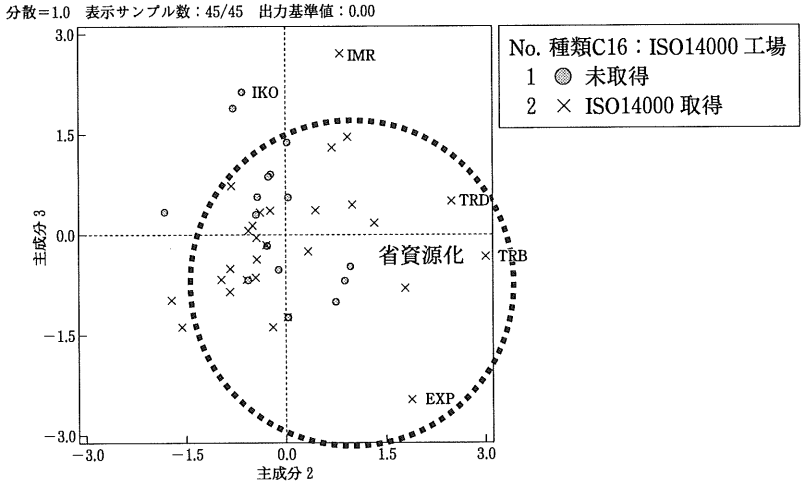


図 5. ISO14000 取得工場の特徴

3. 製品のライフサイクルプロセス要因関連図からの分析

3.1 製品のライフサイクルプロセス要因関連図と数値化

図 6 は、A 社の環境マネジメントシステム管理者とその部下とが製品のライフサイクルプロセスについて、製品設計から使用廃棄に至るまでどのような要因があり、その要因間の因果関係はどのような関係にあるかを討議して描いた関連図である。関連図では原因系から結果系に矢線が引かれている。

この図 6 から要因相互関係の個々の関連は捉えられても、要因の構造はどのようなになっているか、またどの要因が鍵になるかは把握しにくい。そこで、DEMATEL 分析という手法を用いて、要因間の構造と鍵になる要因を抽出してみた。

表 5 は、図 6 で、行に示してある項目から列の番号の項目へ矢線が引かれていれば 1 とおき数値表にしたものである。この表全体を数値行列 X^* とした。

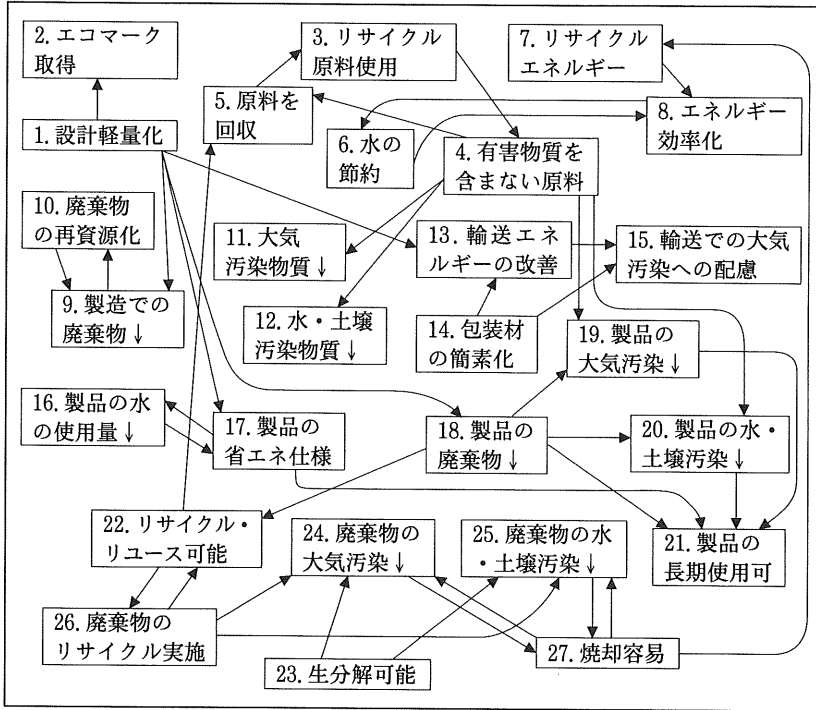


図 6. A社の製品のライフサイクルプロセスにおける要因関連図

3.2 DEMATEL 分析

DEMATEL (DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory) 分析は、スイスのバツテル・ジュネーブ研究所において、1973年から1974年にかけて開発されたシステム分析手法であり、複雑な問題（いくつかの問題が複合している状態）の構造を探るのに適用される。

まず意思決定者や関係者との対話、またはアンケート調査などに基づいて、問題を構成している種々の要因間の因果関係を探り、数値行列で表現することから始まる。この数値行列をグラフ理論に基づいて解析し、最終的には要因間の直接的・間接的な因果関係を階層的な有向グラフによって図示し、問題解決に関する意思決定者の理解を促して、将来の方向や目標のパターンを捉えよう

地球環境を配慮した MOT の実践

表 5. 行の項目から列の項目番号へ矢線の有無を示した数値行列 X^* の表

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1. 設計軽量化		1							1				1				1	1									
2. エコマーク取得																											
3. リサイクル原料使用				1																							
4. 有機物質を含まない原料					1					1	1								1	1							
5. 原料を回収		1																									
6. 水の節約																											
7. リサイクルエネルギー								1																			
8. エネルギー効率					1		1																				
9. 製造での廃棄物 ↓									1																		
10. 廃棄物の再資源化								1																			
11. 大気汚染物質 ↓																											
12. 水・土壌汚染物質 ↓																											
13. 輸送エネルギーの改善														1													
14. 包装材の簡素化													1	1													
15. 輸送での大気汚染への配慮																											
16. 製品の水の使用量 ↓																	1										
17. 製品の省エネ仕様																1					1						
18. 製品の廃棄物 ↓																			1	1	1						
19. 製品の汚染 ↓																				1							
20. 製品の水・土壌汚染 ↓																					1						
21. 製品の長期使用可																											
22. リサイクル・リユース可能					1																		1	1	1		
23. 生分解可能																							1	1			
24. 廃棄物の大気汚染 ↓																											1
25. 廃棄物の水・土壌汚染 ↓																											1
26. 廃棄物のリサイクル実施																					1		1	1			
27. 焼却容易						1																	1	1			

とするものである。グラフ理論とは、要因間などのつながり方に着目して、抽象化された点とそれを結ぶ線の様々な性質の構築を理論に裏付けて、探求していく理論である。

学者やローマクラブなどの組織が、1971年から調査を始めたニクソン大統領の一般教書、ブレジネフ書記長の演説、国際会議の議事録などを DEMATEL 分析して、世界的な危機的な論争点を階層構造的に整理して、1974年に発表したものが最初である。

DEMATEL 分析をおこなうには、まず数値行列 X^* を規格化行列 X に変換する。規格化行列への変換は、項目「1. 設計軽量化」の行であれば、行の1の総計は5となる。この5で列番2, 9, 13, 17, 18の1を割り各0.2とする。以

下項目「2. エコマーク所得」も同様にして全体の規格化行列 X を作成していく。この X を直接行列と呼ぶことにする。

DEMATEL 分析は、1 以下になった成分のこの直接行列 X を無限回、電流を流すように巡回させて、収束した状態が問題の要因構造を生成しているとする考え方である。それを定式化すると(1)式が成り立つので、これより(2)式を得る。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} X^n = [0] \quad (1)$$

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

ここで、 I は $n \times n$ の単位行列を表す。要因間の間接的な影響の度合いが、巡回連鎖とともに単調に減少していくので、行列 $X(I - X)^{-1}$ は、意思決定者が考えている直接・間接的な影響の度合いを表す。この行列を直接・間接行列と呼ぶ。また、直接的な影響から t 巡回までの間接的な影響までの和は、

$$X + X^2 + X^3 + \dots + X^t = (I - X^t) \times (I - X)^{-1} \quad (3)$$

で表される。間接的な影響の度合いだけを知りたい場合には、

$$X^2 + X^3 + \dots + X^n = X^2(I - X)^{-1} \quad (4)$$

をみればよい。したがって、この行列 $X^2(I - X)^{-1}$ を間接行列と呼ぶ。

以上の直接行列、直接・間接行列、あるいは間接行列において、第 i 行の行要素の和は、要因 i が他の要因に影響を及ぼす度合いとなり、第 i 列の列要素の和は、要因が他の要因から影響を受ける度合いになる。行要素の和の大きい要因から小さい要因へ順に番号をつけると、これが影響を及ぼす度合いに関する順序づけになり、同様に、列要素の和によって影響を受ける度合いに関する順序づけを行うことができる。

さらに、直接・間接行列 $X(I - X)^{-1}$ の行要素の和を D 、列要素の和を R とし、各要因別に $(D - R)$ および $(D + R)$ を計算すると、 $(D - R)$ が正ならば、この要因は主に影響を及ぼす要因であり、負ならば影響を受ける要因であることを示す。また $(D + R)$ は、影響を及ぼす度合いと影響を受ける度合いの和

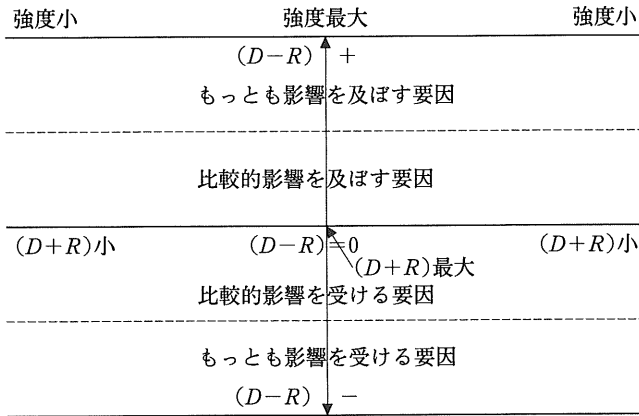


図7. DEMATEL分析で $(D-R)$ 、 $(D+R)$ の軸から解析するための図

の強度を表している。

そこで図7のような、各要因間の相互関係を表す $(D-R)$ 、 $(D+R)$ を軸とするグラフを考えると、要因間の構造を示す階層関係が明らかになる。

3.2 DEMATEL 分析結果

表5から求めた DEMATEL 分析計算結果を表6に示す。なお影響全体を示す $(D+R)$ は横軸の中心に最大値がくるように影響全体の $(D+R)$ から最大値の1.620を引いた。また製品のライフサイクルプロセスの設計から製造段階までに-の符合をつけ、製品完成から使用廃棄までの段階に+の符号をつけて変換 $(D+R)^*$ 値を作成した。

影響を与える度合い $(D-R)$ と影響全体を示す変換 $(D+R)^*$ を軸として、27の要因の階層構造図を示したのが図8である。図8より、設計段階で限りなく有害物質の使用を避け、省資源・省エネのために軽量化とリサイクル・リユースの可能性を考慮しておく、最終の廃棄段階で、大気・水・土壌汚染が防げ、かつ製品の長期使用が可能となることが示される。地球環境施策については設計の段階から早期に取り組む必要がある。

表6. DEMATEL の計算結果表

項目	行の和 D	列の和 R	影響与度 $D-R$	影響全体 $D+R$	変換 $(D+R)^*$
1. 設計軽量化	1.318	0.000	1.318	1.318	-0.302
2. エコマーク取得	0.000	0.200	-0.200	0.200	-1.420
3. リサイクル原料使用	0.427	0.300	0.127	0.728	-0.892
4. 有機物質を含まない原料	1.137	0.260	0.877	1.397	-0.223
5. 原料を回収	0.285	0.502	-0.217	0.788	-0.832
6. 水の節約	0.250	0.307	-0.057	0.557	-1.063
7. リサイクルエネルギー	0.250	0.365	-0.115	0.615	-1.005
8. エネルギー効率	0.250	0.534	-0.284	0.784	-0.836
9. 製造での廃棄物 ↓	0.250	0.458	-0.208	0.708	-0.912
10. 廃棄物の再資源化	0.250	0.292	-0.042	0.542	-1.078
11. 大気汚染物質 ↓	0.000	0.252	-0.252	0.252	-1.368
12. 水・土壌汚染物質 ↓	0.000	0.252	-0.252	0.252	-1.368
13. 輸送エネルギーの改善	0.200	0.400	-0.200	0.600	1.020
14. 包装材の簡素化	0.440	0.000	0.440	0.440	1.180
15. 輸送での大気汚染への配慮	0.000	0.480	-0.480	0.480	1.140
16. 製品の水の使用量 ↓	0.292	0.292	0.000	0.583	1.037
17. 製品の省エネ仕様	0.458	0.458	0.000	0.917	0.703
18. 製品の廃棄物 ↓	0.680	0.200	0.480	0.880	0.740
19. 製品の廃棄物 ↓	0.200	0.492	-0.292	0.692	0.928
20. 製品の廃棄物 ↓	0.200	0.492	-0.292	0.692	0.928
21. 製品の長期使用可	0.000	1.128	-1.128	1.128	0.492
22. リサイクル・リユース可能	1.197	0.250	0.947	1.447	0.173
23. 生分解可能	0.543	0.000	0.543	0.543	1.077
24. 廃棄物の大気汚染 ↓	0.359	1.060	-0.707	1.424	0.196
25. 廃棄物の水・土壌汚染 ↓	0.359	1.060	-0.707	1.424	0.196
26. 廃棄物のリサイクル実施	0.983	0.250	0.733	1.233	0.387
27. 焼却容易	0.793	0.826	-0.033	1.620	0.000

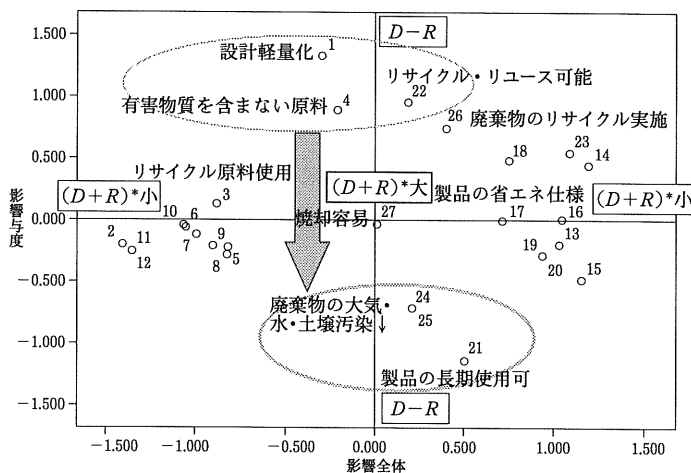


図8. 製品ライフサイクルプロセスの構造図と鍵になる要因を示した図

4. 技術の成果と脅威の2面を考慮した技術経営

最後に、これらの事例を通じて得た技術経営のあり方について述べる。技術経営は、工学、科学、経営学の各学問分野を結びつけ、技術的可能性を企画・計画し、開発、実行して組織の戦略計画・実践目的を達成することにある。そして、技術的可能性については技術の成果のプラス面と製品安全や地球環境に対する恐怖のマイナス面の2面から考える。マイナス面のリスクを回避しながらプラス面を実現していくことが技術的可能性の課題である。とくに早期の設計段階で、脅威となるマイナス面を明確にして設計で回避することが重要である。この技術的可能性を実現推進していくには次の5つが重要である。1つは、自社を取り巻く事業の製品技術に関する技術変化を把握して自社の製品技術力を評価し自社の技術力の位置を知ることである。2つめは研究開発において、長期的な課題と短期的な課題の選択を行い、資源配分を決定することである。特に開発納期を明確にすることである。日本の製造業の製品開発は納期管理が甘いといえる。3つめは自社の各製品技術力間の相互関係を把握し、抜けている製品技術は何かを明確にすることである。場合により必要な製品技術を取り込むことも計画する。4つめは製品の製造段階での技術力の把握と評価である。新製造技術の導入も考える。5つめは、陳腐化した技術を切捨て、他の技術へ置き換えていく決断にある。

こうした技術経営を推進するためには、図9のような自社技術展開マップを作成し、逐次経営会議や開発会議で更新していき、技術経営の意思決定のプロセスが見えるようにすることも重要といえよう。このことで見込み違いによる判断の修正も行いやすいと考える。

5. ま と め

技術の成果の部分と脅威の部分との両面を考慮した技術経営のあり方について、地球環境への影響を脅威の部分として取り上げ、製造業A社の調査データ

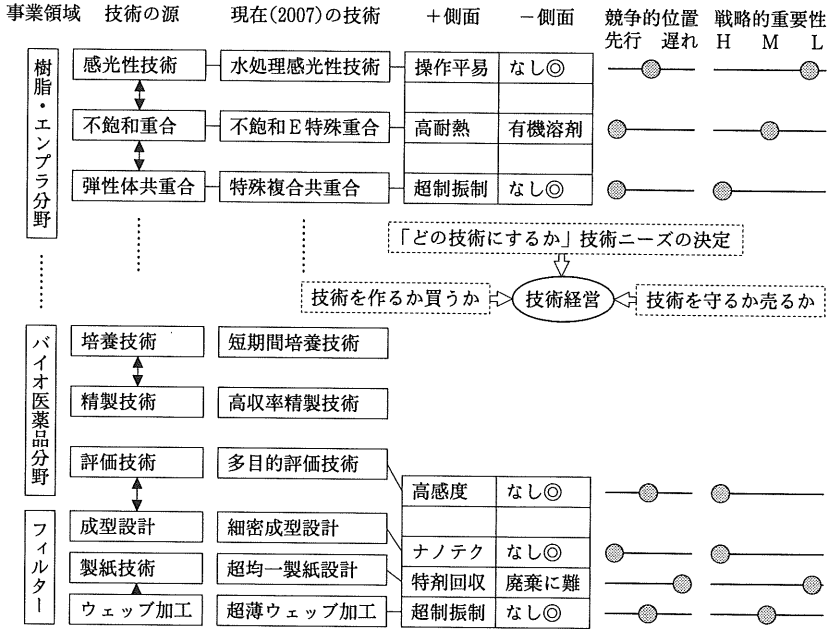


図9. 技術の切り捨て・置き換え決定のための戦略的技術展開イメージマップ

から解析して意思決定をしていく方法について述べた。A社は、地球環境に脅威があるとわかった32.IKFの製品については、短期的には高収益が期待できるものの長期的には収益が望めないことから早期にこの製品の製造を中止した。また、脅威の部分についての要因関連図からDEMATEL分析を用いて、脅威のリスク回避はできるだけ設計の段階で進めるべきであることが示された。今後自社の戦略的技術経営を推進していく上で、自社の技術展開マップを作成することにより意思決定のしやすさと変化に対する修正が容易になることも提言した。今後は日本の製造業の技術経営に役立つような具体的な実践方法についてさらに検討していきたい。

参 考 文 献

- (1) 榎木・河村：「参加型システムズ・アプローチ」，日刊工業新聞社，1981.
- (2) ヒューゴ・チルキー編，亀岡監訳：「科学経営のための実践的 MOT」，日経 BP 社，2005.
- (3) 野口博司：「言語データによる MOT の実践方法について」，神戸学院経済学論集，第37巻，第1・2号，P.81～102，2005.