

1. 研究の背景と焦点

IT化、グローバル化、メガコンペティションといったパラダイムシフトが進む中、我が国の電力産業は大きな転換期を迎えつつある。

現在、我が国の電力産業は、①需要（売上）の伸び悩み、②新規参入の拡大、③顧客ニーズ多様化への対応、④優勝劣敗の可能性、⑤小売市場の自由化（市場における自由取引）といった課題（本稿ではこれらをトリレンマに習って「ペンタレンマ」にする）を抱えている。

本稿では、これらの課題（ペンタレンマ）の同時解決のためには、従来の戦略から後述するレジリエンス及びコンソーシアム戦略への転換が必要であり、かつその際にITが重要な役割を果たしうる、との仮説に立ち、本仮説をトランスログコスト関数等を用いた定量的分析により検証した。

2. 戦略転換の必要性

2.1 レジリエンス戦略への転換

従来、我が国の電力産業は、高い需要成長率を前提とした設備投資拡大戦略を採ってきたが、近年の需要伸び悩みに伴い、設備投資リスクが拡大し、戦略転換を迫られている。

また、エネルギー産業であることの特性上、本質的に燃料価格の変動や燃料資源の供給途絶といったエネルギー資源に関わるリスクを抱えている。

こうしたリスクを低減し、安定的な成長を図るためには、資本、エネルギー等の不確定要素の強い生産要素への過度の依存を抑制していく必要がある。このような戦略を本稿では「レジリエンス戦略」と呼ぶ。

レジリエンスとは、生態学において、「予期せぬ障害にもかかわらず本来の機能を維持する生態系の能力」(Marten, 2001 [1])と定義されており、不確定要素への依存度を極力減らすことにより、生存の確率を高める戦略を意味する。

2.2 コンソーシアム戦略への転換

我が国の電力産業は、卸売・小売の一部自由化が行われたものの、基本的には発送配電垂直統合型の地域独占体制を維持している。しかしながら、先行する欧米の動向を睨みながら、より大幅な規制緩和・自由化に向けた検討が行われている。

電力自由化が求められている背景としては、公正な競争原理の導入を通じて、先進国の中でも最も高い電力料金 (IEA, 2001 [2]) の低廉化を図ることが第一に挙げられる。電力産

業への多様な業種の参入が可能になることは、既存の電気事業にとっては、脅威であると同時に、多様な業種との連携・結合を通じて、外部からのノウハウ等のスピルオーバーを享受できるチャンスともいえる。

生態系においては、捕食者—被捕食者間の精妙なバランスの中で、競争、共生、共進化 (Co-Evolution) が繰り返されており、このことが系全体の安定に寄与している (Hofbandar and Sigmund, 1988 [3])。このアナロジーとして、電力産業においても、多様な産業間の連携・結合によりスピルオーバーを活用するコンソーシアム構造の有効性が示唆される。

3. IT の役割

上記の戦略転換において、IT が一つの有力な手段となりうる、との仮説を設けた。

現在、電力産業においては、IT は主に企業内部のマネジメントの効率化、電力系統の運用・制御、及び発電システムの管理・制御のために使用されている。しかし今後ITの役割はこれらにとどまらず、分散電源の統合 (Aggregation)・管理、需要サイドマネジメント、顧客や投資家とのインタラクション、及びネットワーク (オンライン)による電力や燃料の取引といった幅広い用途に使われていく兆しがある。

例えば、複数の分散電源をITにより遠隔制御して、逆潮流によりピークカットに役立てるヴァーチャル・パワー・プラントは、リスクの高い大規模集中発電所への設備投資の軽減、即ち資本代替に結びつく可能性がある。

また、高い総合エネルギー効率を誇る複数の分散電源を結合してITにより最適管理するマイクログリッドあるいはパワー・パーク、FRIENDSといったシステムは、電力供給システム全体のエネルギー効率を高め、エネルギー代替に大きく寄与する可能性がある。

このように、IT は、不確定な生産要素である資本やエネルギーを代替し、電力産業のレジリエンスを向上させる役割を果たしうるものと考えられる。

同時に、コンソーシアム戦略、すなわち多様な異業種との連携・結合により、製造業等が保有するIT技術・ノウハウからのスピルオーバーを享受することにより、上記のようなITによる不確定生産要素の代替を一層促進することが可能になるものと考えられる。

本稿では、これらITの役割を以下の定量的分析により検

証した。

4. 分析

4.1 トランスログコスト関数による IT の貢献分析

(1) 分析モデル

電力産業（9社計）に関して以下の費用関数を設定した。

$$C = C(Y, P_i, T_e, ITe, ITm) \quad ①$$

C: 総費用、Y: 総産出、P_i: 労働・資本・エネルギーの価格、T_e: 技術ストック、IT_e: 電力産業の内部 IT ストック、IT_m: 製造業全体の IT ストック

①式をテイラー展開して次のトランスログ型費用関数を得る。

$$\ln C = C_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum \alpha_{ij} \ln P_i + \alpha_{Te} \ln T_e + \alpha_{ITe} \ln ITe + \alpha_{ITm} \ln ITm + \sum \sum \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum \beta_{Yi} \ln Y \ln P_i + \sum \beta_{Tei} \ln T_e \ln P_i + \sum \beta_{ITei} \ln ITe \ln P_i + \sum \beta_{ITmi} \ln ITm \ln P_i + \beta_{YTe} \ln Y \ln T_e + \beta_{YITe} \ln Y \ln ITe + \beta_{YITm} \ln Y \ln ITm + \beta_{TeITe} \ln T_e \ln ITe + \beta_{TeITm} \ln T_e \ln ITm \quad ②$$

②式を ln P_i で偏微分することにより、

$$\partial \ln C / \partial \ln P_i = \alpha_i + \beta_{Yi} \ln Y + \beta_{Tei} \ln T_e + \beta_{ITei} \ln ITe + \beta_{ITmi} \ln ITm \quad ③$$

一方、シェパードの定理より、

$$\partial \ln C / \partial \ln P_i = (P_i / C) (\partial C / \partial P_i) = P_i X_i / C = M_i \quad ④$$

(要素 i のコストシェア)

③、④式より、

$$M_i = \alpha_i + \beta_{Yi} \ln Y + \beta_{Tei} \ln T_e + \beta_{ITei} \ln ITe + \beta_{ITmi} \ln ITm \quad (i : L, K, M) \quad ⑤$$

トランスログ費用関数が一次同次とすると、以下の制約条件式が成立する。

$$\sum \alpha_i = 1 \quad ⑥$$

$$\sum \beta_{ij} = \sum \beta_{ji} = \sum \beta_{Yi} = \sum \beta_{Tei} = \sum \beta_{ITei} = \sum \beta_{ITmi} = 0 \quad ⑦$$

⑤、⑥、⑦の同時解を求めることにより、α_i、β_{ij}、β_{Yi}、β_{Tei}、β_{ITei}、β_{ITmi} を計測した。

(2) IT とエネルギー、資本との代替・補完関係の計測

上で求めたパラメータにより、アレンの偏代替弾性値 σ_{ij} を求めた。

$$\sigma_{ij} = (\beta_{ij} + M_i M_j) / M_i M_j \quad (i \neq j) \quad ⑧$$

β_{ij}: 上で計測したトランスログ費用関数のパラメータ

具体的には、以下の要素間の偏代替弾性値を計測した。

- (i) ITe (内部 IT ストック) と E (エネルギー)
- (ii) ITe (内部 IT ストック) と K (資本)

(3) 内部 IT ストックのコスト低減効果、及び外部 IT スト

ックのスピルオーバー効果の計測

②式を ln ITe (内部 IT ストック)、ln ITm (製造業 IT ストック) で偏微分することにより、⑩、⑪式が得られる。これは総費用 C に対する ITe、ITm の弾性値を意味し、負の方向 (費用低減の方向) ならば、技術進歩、すなわち ITe (内部 IT ストック) のコスト低減効果、及び ITm (外部 IT ストック) の技術スピルオーバー効果を示す。

$$\partial \ln C / \partial \ln ITe = \alpha_{ITe} + \sum \beta_{ITei} \ln P_i + \beta_{YITe} \ln Y + \beta_{TeITe} \ln T_e + \beta_{ITeITm} \ln ITm \quad ⑩$$

(内部 IT ストックのコスト低減効果)

$$\partial \ln C / \partial \ln ITm = \alpha_{ITm} + \sum \beta_{ITmi} \ln P_i + \beta_{YITm} \ln Y + \beta_{TeITm} \ln T_e + \beta_{ITeITm} \ln ITe \quad ⑪$$

(外部 IT ストックのスピルオーバー効果)

⑩、⑪式により、先に計測したパラメータ α_x、β_x 群を用いて、内部 IT ストックと製造業 IT ストックのコスト低減/スピルオーバー効果を計測した。

(4) 分析結果

分析結果を図 1 に示す。

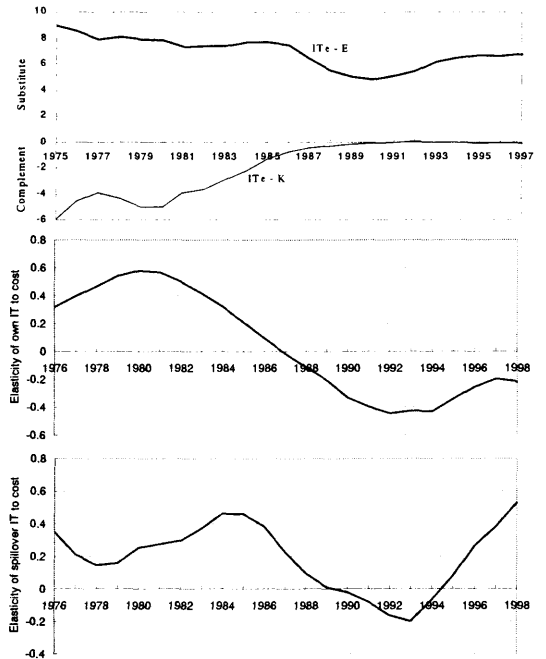


図 1. トランスログコスト関数による IT の貢献分析結果

IT はエネルギーと代替関係にあるが、80 年代後半に低レベル化した。その後やや回復するが、90 年代後半から停滞している。IT は資本と補完関係にあったが、80 年代か

ら減少し、90年代からは中立化し、その後停滞している。

内部ITストックの技術進歩促進効果は、1988年から発揮されはじめたが、1992年以降停滞し、1995年以降悪化している。これは内部ITの限界、すなわち外部スピルオーバーの活用の必要性を示唆している。

製造業からのITスピルオーバーは1990年以降実現されたが、そのレベルは低く、更に1994年以降その傾向は悪化している。

以上のように、ITによる代替・外部ITスピルオーバー活用が存在するものの、そのレベルは低く、最近更に減少ないし停滞傾向にあることが明らかとなった。

4.2 レジリエンス評価モデルによる分析

(1) 電力産業のレジリエンス評価モデル

⑫式により、電力産業のレジリエンス構造を評価した。

$$\ln OIS = a + b \ln(a' + b' \sin(ct + d) + gD_{1994}) + g \ln YR + D_i h_i \ln FD + D_i k_i \ln SV + \lambda t \quad (12)$$

OIS: 売上高営業利益率、右辺第二項: 景気動向指数(CI)のサインカーブによる表現、YR: 円レート、Di: 期間ダミー、FD: 機能創出性(内部技術ストック)、SV: 競争環境(エネルギー投入量)、t: タイムトレンド

表1. レジリエンス評価モデルの分析結果

a	b	g	h ₁	h ₂	k ₁	k ₂	λ	Adj.R ²	DW
景気	円レート	円レート	機能創出性	機能創出性	競争環境	競争環境	タイムトレンド		
126.31	0.40	0.55	0.56	0.54	-1.63	-1.63	-0.05	0.833	1.23
(2.07)	(1.34)	(3.28)	(3.06)	(2.91)	(-2.11)	(-2.12)	(-1.93)		

OISに対する弾性値kの絶対値はエネルギーが最も高く、電力の収益構造の潜在的脆弱性はエネルギーに内包していることが明らかとなった。

(2) ITストック増大がレジリエンス強化に及ぼすインパクト分析

⑫式を変形することにより、売上高利益率 OIS に対するエネルギーの弾性値 k は、⑬式で表される。

$$k = \frac{\ln OIS - [a + b \ln(a' + b' \sin(ct + d) + \gamma D_{1994}) + g \ln YR + h \ln Te + \lambda t]}{\ln E} \quad (13)$$

ここで、技術ストック (Te) とエネルギー (E) との代替関係について、アレンの偏代替弾性値

$$\sigma_{ij} = (\beta_{ji} + m_i m_j) / (m_i m_j)$$

より、

$$m_{ITe} \cdot m_E = \frac{ITe \cdot P_{ITe} \cdot E \cdot P_E}{GC \cdot GC} = \frac{\beta_{ITeE}}{(\sigma_{ITeE} - 1)}$$

ITによるコスト抑制、ITとエネルギーとの代替の進行を前提とすれば、

$$\frac{\Delta GC^2}{P_{ITe} \cdot P_E} \approx 0$$

$$\therefore \frac{\Delta ITe}{ITe} + \frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta(\sigma_{ITeE} - 1)}{\sigma_{ITeE} - 1} \quad (14)$$

⑬、⑭の連立方程式を解くことにより、ITe(内部ITストック)の増大がTe(技術ストック)のITシフトとE(エネルギー)の代替を通じて、弾性値kを低減させ得ることを検証する。分析結果を図2に示す。

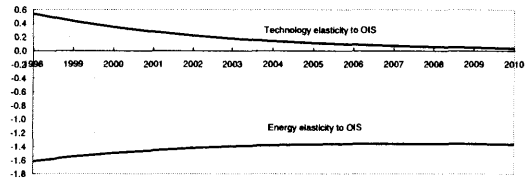


図2. ITストック増加率を倍増した場合のシミュレーション(弾性値の変化)

これにより、ITストックの増大が、ITによるエネルギー代替を通じて、OIS(売上高営業利益率)に対するエネルギーの弾性値kの絶対値を低減せしめ得ること、即ちITストックの増加がレジリエンスの強化につながり得ることが検証された。

5. 結論

以上の分析により、第一に、電力産業において、ITによる生産要素の代替、及び外部ITスピルオーバーの活用が存在するものの、そのレベルは低く、最近更に減少・停滞傾向にあることが明らかとなった。

第二に、IT投資の増加率を倍増させることにより、エネルギーの弾性値を低減することが可能であり、エネルギーに多大に依存する電力産業にとって、IT投資は今後レジリエンス構造の改善に貢献しうることが明らかとなった。

同時に、コンソーシアム構造の導入によるITスピルオーバーの活用は、このようなITの効果を加速化するものと考えられる。

参考文献

- [1] Marten, G., Human Ecology? Basic Concepts for Sustainable Development, Earthscan Publishers Ltd., London (2001).
- [2] IEA, Key World Energy Statistics, IEA, Paris (2001).
- [3] Hofbänder, J., and Sigmund, K., The Theory of Evolution and Dynamical Systems, Cambridge University Press, Cambridge (1988).