

使用済燃料貯蔵の技術変遷に関する理論的考察

長野浩司¹ 三枝利有² 伊藤千浩² 吉村英二³ 寺村政浩³

技術パラダイムの変遷に関する理論を使用済燃料貯蔵技術体系に適用し、過去の技術トレンドと市場浸透過程、今後の動向について検討を試みた。貯蔵施設設置件数が限られるなどのデータの問題はあるものの、適用した手法が貯蔵技術の市場参入・退出過程の分析及び将来展望にある程度有効であることが示された。分析結果によれば、貯蔵技術は既に各々の「ニッチ市場」を見出し、この意味で必ずしも淘汰や市場退出が起こっていないことが示された。また、近い将来を展望する限り、コンクリートキャスクやコンクリートサイロなどの「新乾式貯蔵技術」がそのシェアを伸ばす公算が大きいことが示唆された。

Keywords: 使用済燃料貯蔵, 技術変遷, 市場浸透, 市場退出

The past technological trends of spent nuclear fuel storage were analyzed by applying the "Marchetti Theory" on transitional phenomena of technology paradigm. The methodology was proved, though the data problem exists, as useful to examine processes of each technology to enter into and exit from the market, as well as project future directions. Based on the results, it was suggested that each storage technology has found its own "niche" market, so that any one option is not necessarily beaten and driven out of the market by other technologies. Another suggestion was made for the new dry methods, such as concrete casks and silos, may expand their shares in the near future.

Keywords: spent fuel storage, technological transition, market penetration, market retirement

1 はじめに

使用済燃料の貯蔵技術は、主として冷却方式の差異により、湿式(水プール貯蔵)および乾式(金属キャスク貯蔵、ボルト貯蔵、コンクリートサイロ貯蔵、コンクリートキャスク貯蔵)貯蔵技術に大別される。各国各地で、個別の事情により、適切な技術が選択され導入されてきている。そこでは、技術の慣性(inertia)が働いたり立地点の制約などのために、当初から特定のオプションが選択されざるを得ない場合もあり得るが、一般には、技術オプションとしては各々選択可能なものとして存在し、いわば競争市場条件において選択されてきたと考えられる。過去の選択がどのような傾向をたどり、その結果としてどのような技術パラダイムが構築されてきたのかを観察することで、将来の傾向を探求することができる。

さて、長期間にわたる複数技術オプションの競合関係を、市場への参入・退出過程として描き出す理論的試みがある。この理論を、使用済燃料貯蔵技術の市場シェアにあてはめることで、上記の長期トレンドの分析に供することが本稿の目的である。

本章で、技術パラダイムの変遷過程のモデルについて説明し、次に使用済燃料貯蔵の技術パラダイムの変遷をデータで観察し、同モデルを当てはめることで得られる示唆について考察することにする。

2 技術パラダイムの変遷モデル

Marchetti ら[1]は、複数財ないし複数の技術オプションの市場参入・退出過程についてのモデル定式化を提案した。新規の財が市場に浸透するとき、その浸透過程は次式および Fig.1 により定義される成長関数(logistic curve)によって模式化できる。

$$f = \frac{1}{1 + \exp\{- (\alpha \cdot t + \beta)\}}$$

このとき、

$$\frac{f}{1-f} = \exp(\alpha \cdot t + \beta) \quad (2)$$

ただし、 f : 市場シェア

よって、市場シェア f について、時間を横軸に、 $\log(f/1-f)$ を縦軸にプロットすれば、当該の財の市場浸透過程が直線で図示される。Marchetti ら[1]は、(1)式は市場浸透過程のみならず退出過程にも適用し、また2つ以上の多財問題に拡張した。このとき、個々の財ないし技術オプションの市場での振る舞いが、傾き正の直線から最大シェアを獲得した時点で負の直線へと屈曲する過程として描き出される。Marchetti らは、実際にさまざまな事例に当てはめてその仮説を検証しており、Fig.2 は、そうした作業の中で最もよく

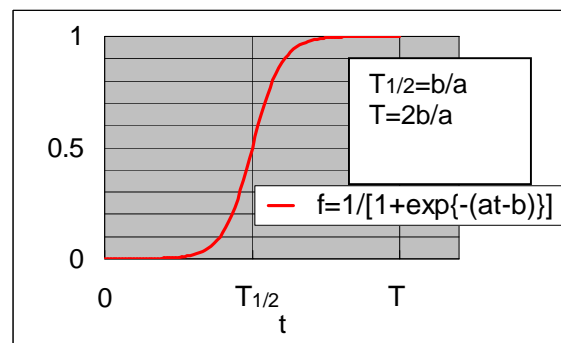


Fig.1 The logistic curve.

A theoretical analysis of technological transitions in spent fuel storage, by Koji Nagano (nagano@criepi.denken.or.jp), Toshiari Saegusa, Chihiro Ito, Eiji Yoshimura, Masahiro Teramura
本稿は日本原子力学会「2000 年秋の大会」における講演内容に加筆したものである。

- (財)電力中央研究所 経済社会研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry, Socioeconomic Research Center 〒100-8126 千代田区大手町 1-6-1
- (財)電力中央研究所 我孫子研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko Research Laboratory 〒270-1194 我孫子市我孫子 1646
- 東洋エンジニアリング(株) Toyo Engineering Corp. 〒275-0024 習志野市茜浜 2-8-1

WORLD - PRIMARY ENERGY SUBSTITUTION

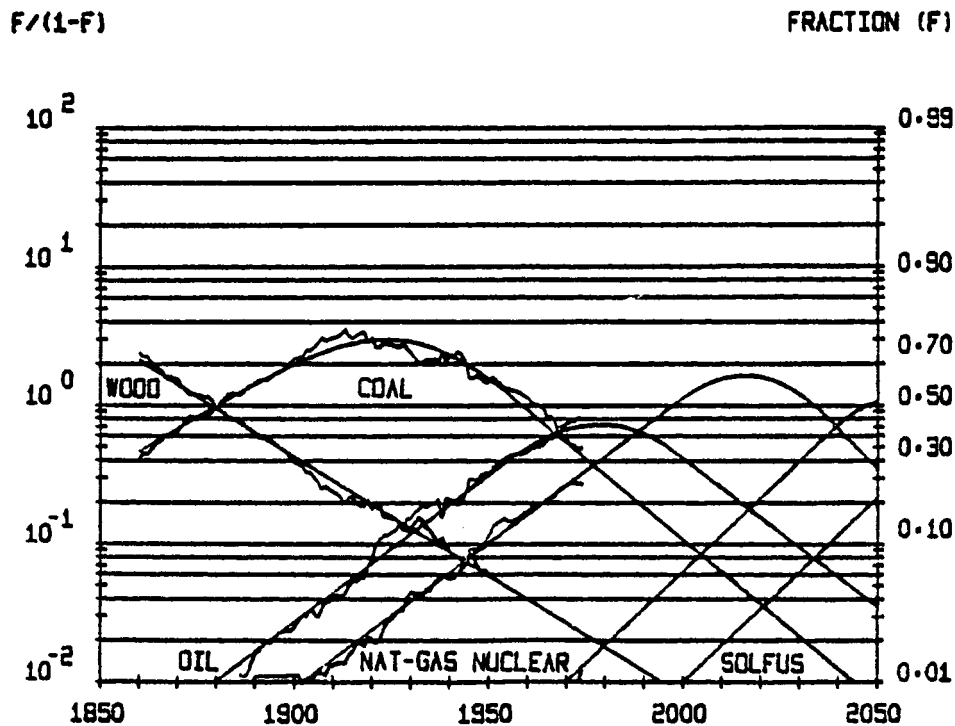


Fig.2 The historical transition of global primary energy consumption. [1]

知られている，世界の一次エネルギー消費におけるエネルギー源の代替に関する評価例である。

本稿では，使用済燃料貯蔵技術の変遷を分析するため，過去に世界で設置された使用済燃料貯蔵施設について，上記の手法の適用を試み，Fig.2と同様の図示による分析を行う。

3 使用済燃料貯蔵施設の設置事例

使用済燃料貯蔵技術には，いくつかの特徴あるオプションが存在し，設置する地点や貯蔵する燃料の特性に応じた選択が可能である。選択において考慮されるべき条件としては，以下が挙げられる。

- ・ 放射性核種の閉じ込め：金属キャニスタ，金属キャスク，プール水
- ・ 冷却方法：湿式（冷却水の強制ないし自然循環），乾式（自然ないし強制空冷）
- ・ 放射線遮蔽：プール水，容器ないし建屋
- ・ 構造強度：建屋，容器

これらの基準について，以下の条件を考慮した結果，最も適切な貯蔵技術が選択される。

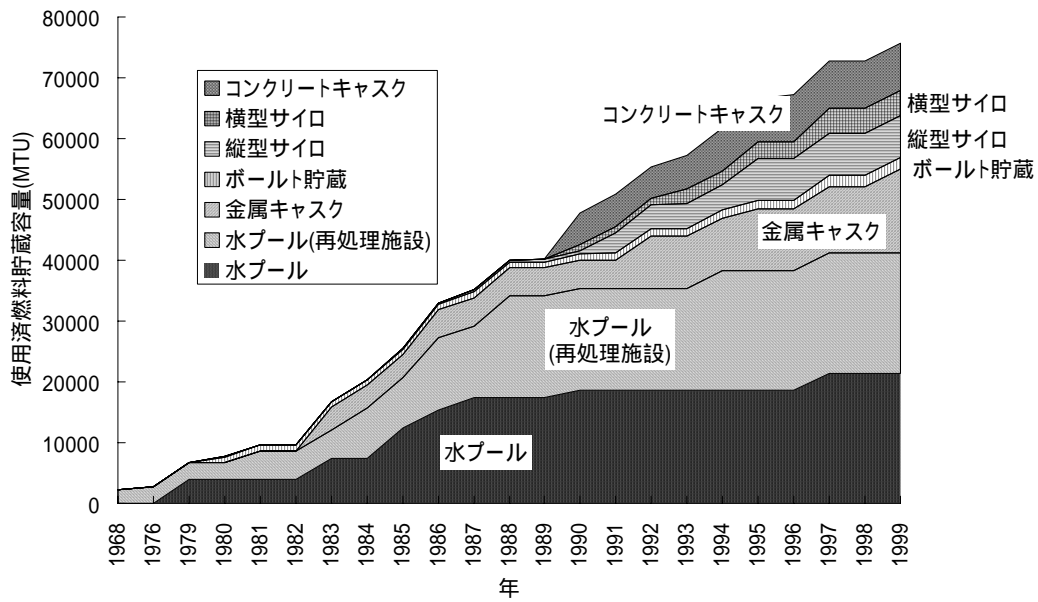
- ・ 湿式か乾式か
- ・ 貯蔵対象と目的：貯蔵燃料の発熱・放射線レベル，貯蔵容量，貯蔵期間，貯蔵前後の措置

- ・ 自然及び社会的環境条件：敷地面積，気候，立地上の受容性

Figure3 に，世界でこれまでに設置された使用済燃料貯蔵施設の累積貯蔵容量を，採用された技術別に示している。貯蔵技術を，ここでは以下の7種類に大別している。

- ・ 水プール貯蔵（再処理施設に付設のもの）
- ・ 水プール貯蔵（独立貯蔵施設）
- ・ 金属キャスク貯蔵
- ・ ボールト貯蔵
- ・ 縦型サイロ貯蔵
- ・ 横型サイロ貯蔵
- ・ コンクリートキャスク貯蔵

本稿では，各年の新規設置分の設備容量[tHM]を分析対象とするが，貯蔵施設は，段階的に設置する代わりにある程度の規模を一度に設置する例が多いため，データが時間軸に対して離散的なものになっている。そこで，対象年についてその前後5年間の新規設置の平均（10年間移動平均）を取り，その貯蔵技術毎のシェアについて，前章に紹介した手法を適用した。移動平均の年次を長く取らねばならな



い点は、今回の手法の問題点の一つである。

4 結果と考察

Figure4 は、Fig.3 のデータを用いて分析した結果である。この結果から、使用済燃料貯蔵は、初期の水プール技術を除いては、ある特定技術が市場を占有したり、市場から退出することはなく、規模の経済性やモジュール性などの個別の特長を活かしながら、各々に「ニッチ(niche)市場」を見出し、独自の地歩を確立し、いわば同一市場内で「棲み分け」を生じていることが示唆されている。

ただし、10 年間という、移動平均としては異例に長い期間を取っているにも関わらず、Fig.4 ではシェア $f=0$ となるケースを生じ、グラフが断絶している ($\log(f/1-f)$ を図示できない) 点が存在する。また、個別技術の市場での振る舞いの説明力についても不十分である。

そこで、Fig.5 では、金属キャスク以外の「新型乾式貯蔵技術」(縦型サイロ、横型サイロ、コンクリートキャスク、ボルト)を一括して表示してみた。すると、金属キャスク貯蔵は 1980 年代後半に、金属キャスク以外の乾式貯蔵技術は 1990 年代に入って、そのシェアを伸ばしたことがわかる。水プール貯蔵は、一貫してシェアを漸減して

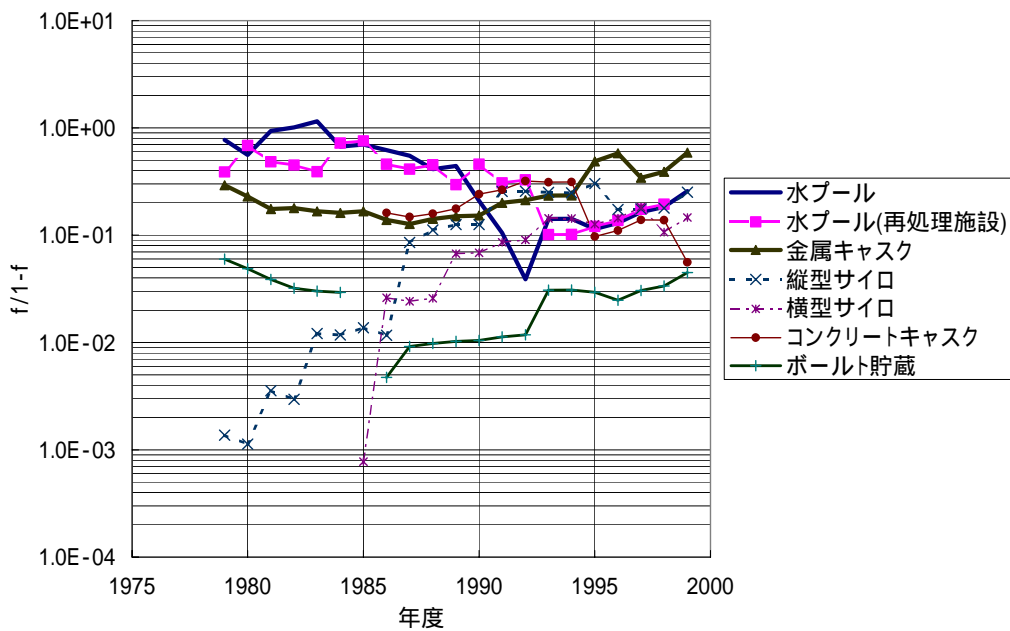


Fig.4 The result for technological transition of spent fuel storage.

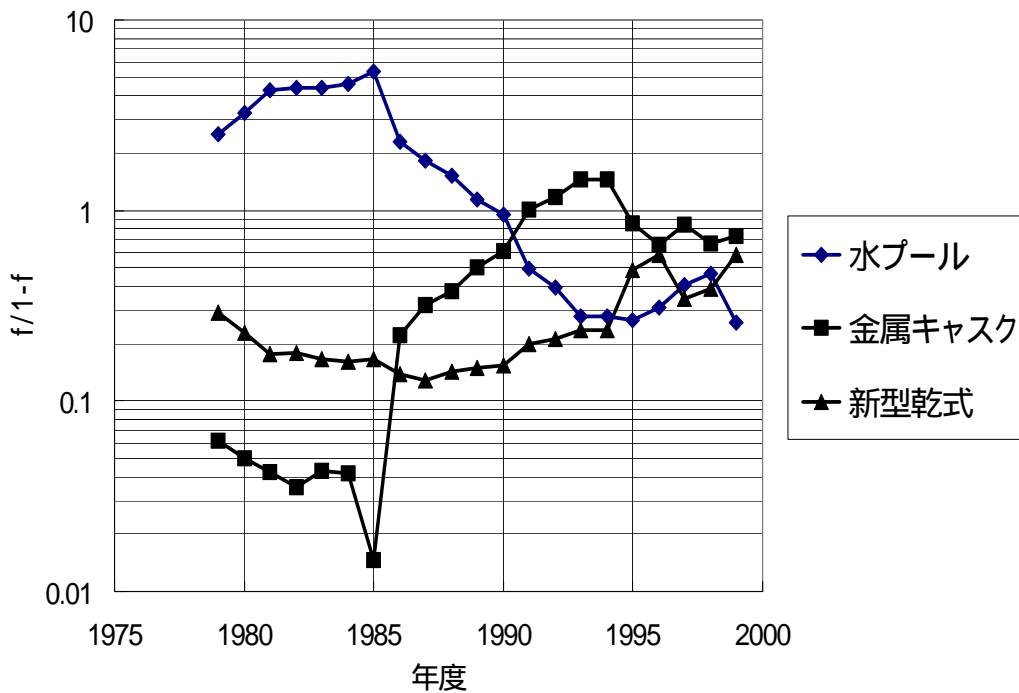


Fig.5 Technological transition with aggregation of new dry storage techniques.

きている。

Figure6 は、金属キャスク以外の乾式貯蔵技術の間でのシェア推移を同様の手法で分析してみた結果である。いずれの技術も、未だにシェア増大ないし減少の確たる履歴を示しておらず、市場において確たる地位を築いたとは言えない。今後の推移を見守る必要がある。

5 まとめと今後の課題

複数財の市場参入・退出過程のモデルを使用済燃料貯蔵技術体系に適用し、貯蔵技術オプションの市場での挙動に

ついての分析を試みた。

使用したデータ(貯蔵施設の新規設置容量)が時間軸に対して離散的であるために、10年間という異例に長期の移動平均を取らざるを得ないなど、分析手法そのものにもなお工夫の余地が大きいと考えられる。

得られた結論は、必ずしも十分明瞭なものとは言い難い。とくに、Fig.2にも示唆されているように、適用したモデルが、過去の実績の説明力には一定の評価が下せるものの、今後の技術ブレークスルーの可能性などに関する将来の予測力の面では優れているとは言えない。従って、本分析を今後も継続し、特徴ある傾向が現れる度に検討を繰り返

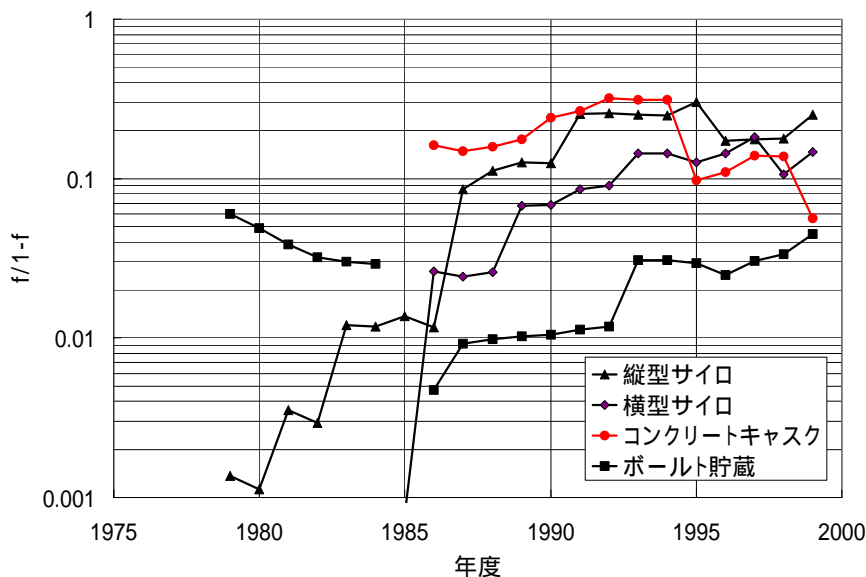


Fig.6 Market penetration of the new dry storage techniques.

すことが必要である。

これまでのところ、使用済燃料貯蔵技術においては、特定の技術の「退出」ないし「淘汰」は観察されてはいない。しかし、新型乾式技術が着実にそのシェアを伸ばしていることから、今後はそれ以外の在来技術（とくに水プール貯蔵）についてそのような傾向が生じ得ることを暗に示唆しており、この意味でも分析評価を継続することが肝要と考えている。

なお、本稿は、日本原子力学会 2000 年秋の大会（青森大学）における同題による発表 No.D36 を加筆したものである。

参考文献

- [1] Marchetti, C., Nakićenović, N.: The dynamics of energy systems and the logistic substitution model. RR-79-13, IIASA, Austria (1979).
- [2] 柳下拓也他: 諸外国における使用済燃料中間貯蔵技術の動向. 日本原子力学会誌 42, 1176-1190 (2000) .

