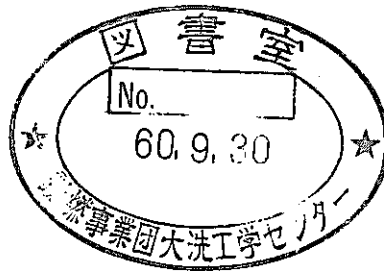


区分	27
決定年月日	平成13年7月31日

実験炉常陽における主たる研究開発成果

— 実用炉への寄与、59年度分の試算 —



1985年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N 908 85-04
<p>この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	

動力炉・核燃料開発事業団
 大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



実験炉常陽における主たる研究開発成果

一 実用炉への寄与、59年度分の試算一

奈良 義彦*

八谷 雄喜*

要 旨

高速増殖炉の開発には長期間と多大の資金を必要とする。開発は臨界実験装置、実験炉、原型炉、実証炉のステップを経て実用炉の完成となるが、各ステップにおいて投入された資金と得られた成果の関係は必ずしも定量的に評価できるものではない。特に各年度毎に、予算と成果を対比させようとする、成果の金額換算は一層困難なものとなる。しかし投入資金と成果の明確化はもしできれば有意義である。

本報告書は上記のテーマに対しての一つの試算である。この試算において、原型炉、実証炉を経て成果が表われる間接的なものには、実験炉の寄与の分担割合という概念を導入した。一般技術水準の上昇、メーカーや他産業からの寄与についても同じ概念で考慮したことになる。また、実用炉は他の原理例へば核融合などによる発電方式が実用化するまで幾基も建設され、実験炉常陽の成果の利用も継続的に累積していくわけであるが、本試算では実用炉1基分への寄与のみを計算することとし、30～40年間稼働するという控え目の前提をおいている。

結果は、年間の予算が燃料費も含め約60億円であるのに対して、成果の金額換算は約10倍の750億となった。運転・保守の経験や技術に関しては、自主開発の意義だとか新技術に対する間接波及効果など金額算出困難なものも多く、本試算では一部のみ計上した。また、研究開発成果に対する常陽の分担割合の数値については今後各方面の方々との議論を期待したい。

なお、今後開発成果をカウンタブルなもの、本質的にアンカウンタブルなものに分けて整理していく予定である。

* 実験炉部

目 次

1. ま え が き	1
2. 試算にあたっての考え方と結果	2
実験炉常陽における主たる研究開発成果 (実用炉への寄与, 59年度分)	3
添 付 資 料	
1. 照 射 試 験	7
2. 工学的試験	10
3. システムの開発・実証	12
4. 運転・保守経験	13
5. 運転・保守技術	14

1. ま え が き

エネルギー資源の乏しい国である日本にとって何らかの対策を立てねばならない。この40～50年間のところ、量的にもまた技術的にも最も有望で現実的な解決策は原子力開発による発電体系の整備である。

原子力開発を進めるとしても、これは長期にわたるため、いくつかの段階に区分されたプロジェクトをつないで現実の発電の要求にこたえていくことになる。第1段階は既に実用化されている軽水炉で、すでに実用化され、成熟段階に入っているものである。第2段階は新型転換炉であって、日本独自のプルトニウム利用方策を持ち、自主開発による実証炉の建設が既に決定されているプロジェクトである。

原子力開発の最終段階は高速増殖炉であり、ウラン資源の徹底的利用を図ろうというプロジェクトである。高速増殖炉の開発は克服すべき技術的課題が多だけでなく、その時々社会の要請度と資金繰りにも大きく影響を受けるため、実用化迄の期間は相当長いものとなる。我が国の場合、1965年頃から2010年頃まで40年以上になる見込みである。

さて、このような長期にわたるプロジェクトの場合、必然的に臨界実験装置、実験炉、原型炉、実証炉、実用炉というステップを踏むことになる。この開発の各ステップに投資している研究開発費と得られた成果の関係は必ずしも定量的に評価できるものではない。特に、各年度毎となると一層分りづらいものとなる。例へば、高速実験炉常陽の場合、1年間の燃料費も含めた予算約60億円を使用して得られる成果はいくらになるかという評価である。これは難問であるが、一定の考えに基づいて成果の金額換算値が求められれば各年度毎の投資効果がある程度把握できることになる。

この報告書はこの評価のための1試算である。

なお、具体的な項目及び計算は実験炉部各課で実施したものであり、部として統一的に整理評価して本報告書にまとめた。

2. 試算にあたっての考え方と結果

本試算は次のような前提条件に基づいている。

- (1) 高速増殖炉は実験炉1基分への寄与を計算する。
- (2) 2基以後の建設・運転によってもR&Dの投資効果は当然継続し、累積していくわけであるが、これは計算に入れないことにする。

また、次のような間接的なものについては、実験炉の寄与分担割合という考え方を導入して試算した。

- (1) 原型炉、実証炉というステップを経て間接的に実用炉に寄与する成果。
- (2) 原子炉メーカーを通じての寄与、他産業も含め一般的な技術の向上に依存する部分が多いものなど常陽の寄与が間接的、部分的であるような成果。

この「常陽の分担割合」の数値は控え目に見積ったが、今後の議論と修正が必要である。

運転保守の経験や技術など金額算出が困難なものについては成果項目をあげるだけにとどめた。詳細に検討を進めればある程度は試算できるものもあるが、自主開発の意義、技術革新に対する間接的な波及効果、エネルギーセキュリティなど算出困難な要素を含んでいる。

試算結果は一覧表とし、項目ごとの目的と計算方法は添付書類の形で記載されている。結果は1年間分の寄与748億円となり、約60億円の年間予算（燃料費も含む）に対して10倍強の成果が得られていることになる。

実験炉常陽における主たる研究開発成果（実用炉への寄与，59年度分）

（単位 億円）

項目	内容	59年度寄与*	R&Dの期間	常陽の分担割合	実用炉30～40年間の利得
1. 照射試験					
1) 燃料高燃焼度化	実用炉燃料をもんじゅの1.5倍の寿命にする 80GWd/t→120GWd/t	113	59～73	0.5	3,400 添付1-1)
2) 制御棒長寿命化	制御棒の耐用年数を2年に倍増する	7.5	56～65	0.5	150 添付1-2)
3) プラント寿命の延長	支持グリッド，炉心構造材等の寿命を30年より40年に延ばす	53	56～70	0.1	7,880 添付1-3)
4) プラント比出力の向上	比出力を全体的に10%上昇させる	168	56～70	0.8	3,153 添付1-4)
2. 工学的試験					
1) 安全性試験	自然循環，沸騰，ATWS試験等により格納容器を合理化する	19.5	56～65	0.5	390 添付2-1)
2) 燃料破損試験	DN法増設，カバーガス浄化設備の検討，カバーガスγ線モニターの検証試験の安全性検討による破損許容度の実証	72	59～69	0.8	900 添付2-2)
3) FFD/FFDLの開発	スリット付試験用集合体を用いたFFDL炉内感度評価をする	15	59～64	0.5	150 添付2-3)
4) 地震時応答特性試験	岩着していない原子力発電所の立地の可能性を起震実験により検討する	3	59～60	0.01 (59年) 0.05 (60年)	300 添付2-4)
3. システムの開発・実証					
1) 運転支援システムの開発	JOYDASの整備・拡充。システムの概念設計	15	57～67	0.5	300 添付3-1)
2) プラント合理化検討	主配管ラグ・サポート部からの放熱量を測定，実用炉について評価	2	59年度は1/30	0.2	300 添付3-2)
3) 使用済燃料貯蔵技術開発	崩壊熱測定装置の概念設計の実施	5.1	59～69	0.5	102 添付3-3)
4) 炉心設計合理化検討	炉心内流量分布を測定し集合体圧損の経年変化を実証する	3.75	59	0.05	75 添付3-4)

(単位 億円)

項 目	内 容	59年度寄与 *	R&Dの期間	常陽の分担割合	実用炉30～40年間の利得*
4. 運転・保守経験 **					
1) 工学的安全係数の見直し	性能試験結果に基づき被覆管温度についてホットスポットファクターを1.20より1.15に低減できた	30	59～69	0.8	375 添付4-1)
2) 格納容器全体漏洩率試験の基準化	格納容器漏洩率試験 (ILRT) の基準化により年1回を10年に3回の頻度に低減	190	52～59	1.0	1,518 添付4-2)
3) 大型Na機器のメンテナンス技術の確立	系外へ引き抜いてメンテナンスをするトラブルに対する技術と経験の寄与	48	57～59	0.8	144 添付4-3)
4) 原子炉利用率61%達成		—			
5) 炉外中性子検出器の国産化		0	52～56		
6) 原子炉液位計の自動較正法の開発		—			
7) 被曝低減化対策の推進		—			
8) フィルター交換ロボットの性能評価, 改良点の集約		—			
9) セシウム・トラップ・システムの設計		—			
10) 電磁流量計供用中較正法の開発		—			
11) 主冷却器温度制御のデジタル制御によるインテリジェンス化		—			
5. 運転・保守技術 **					
1) FBR運転員養成	シュミレーター訓練, 理論教育, 実地訓練	4	52～75	—	— 添付5-1)
2) フリーズシールメタル酸化防止対策	酸化粉発生のメカニズム検討のための試験実施	—	55～65	—	—
3) 回転プラグのジャッキダウン対策他7件	水平度検出器の指示値から容易に行える手法確立など	—	55～59	—	—
合 計		約748億円			

*: 算出根拠は添付資料参照

**: 金額算出困難 (自主開発の意義, 間接的波及効果など)

添付資料－1. 照射試験

1) 燃料高燃焼度化

1. 目的

現在、燃焼度が約 30,000 MWd/t である軽水炉の核燃料サイクル費は約 2.3 円/kWhとされている。一方、実用炉の燃焼度を「もんじゅ」の目標燃焼度 80,000 MWd/t から 120,000 MWd/t に増加させた場合の核燃料サイクル費（Pu 装荷費，成形加工費，使用済燃料輸送費，再処理費，廃棄物処理処分費等）は 2.4 円/kWh から 1.1 円/kWh に低下すると計算される。これによる燃料サイクル費の利得は，1.3 円/kWh となる。この高燃焼度化の照射実験を常陽で行う。

2. 計算方法（炉寿命40年，稼働率75%，出力 100万 KWe）

(1) 実用炉の発電量（炉寿命まで）

$$1 \times 10^6 \text{ kW} \times 24 \text{ h/日} \times 365 \text{ 日/年} \times 40 \text{ 年} \times 0.75 = 2.628 \times 10^{11} \text{ kWh/炉寿命}$$

(2) 寿命中の利得

$$1.3 / \text{kWh} \times 2.628 \times 10^{11} \text{ kWh} = 3.4 \times 10^{11} \text{ 円/炉寿命}$$

(3) 常陽の成果

常陽は上記の利得のための照射試験を15年間にわたって行い，その利得に対する貢献度を 0.5 とする。

$$\frac{3.4 \times 10^{11} \text{ 円}}{15 \text{ 年}} \times 0.5 = 113 \text{ 億円/年}$$

2) 制御棒長寿命化

1. 目的

実用炉の制御棒中の¹⁰Bの燃焼度を「もんじゅ」の目標燃焼度 $150 \times 10^{20} \text{ cap/cm}^3$ から $300 \times 10^{20} \text{ cap/cm}^3$ に増加させるため，「常陽」にて確性照射試験を行う。
(2年間)

2. 計算方法

(1) 制御棒コスト（初装荷）

$$0.6 \text{ 億円/1体} \times 25 \text{ 体/炉} = 15 \text{ 億円}$$

(2) 炉寿命中の制御棒コスト

$$15 \text{ 億円} \times 40 \text{ 年} / 2 \text{ 年} = 300 \text{ 億円}$$

(3) 制御棒寿命を2倍に延長することによるコストセイビング

$$300 \text{ 億円} / 2 = 150 \text{ 億円}$$

(4) 常陽の成果

照射試験 10年間,
常陽の貢献度 0.5

$$\frac{150\text{億円}}{10\text{年}} \times 0.5 = 7.5\text{億円}$$

3) プラント寿命の延長

1. 目的

原子炉の寿命に大きく影響する炉容器等の原子炉構造材料の照射試験をSMIR及びUPR等を用いて行い、新材料の開発、照射挙動の把握を行って炉寿命を30年間から40年間にする。

2. 計算方法

(1) 前提条件

- ① 開発期間：15年（56～70年）
- ② 売電単価：20円/kWh（FBRが実用化された時点での売電単価を20円/kWhと仮定する）
- ③ 資本費の割合：0.6（資本費のみがコストセイビングとする）
- ④ プラントを10年間延長させるための本照射試験の貢献度：0.1

(2) 10年延長の利得

$$20\text{円/kWh} \times 0.6 \times 1 \times 10^6\text{kW} \times 24\text{h/日} \times 365\text{日/年} \times 10\text{年} \times 0.75 = 7.88 \times 10^{11}\text{円}$$

(3) 常陽の成果

$$\frac{7.88 \times 10^{11}\text{円}}{15\text{年}} \times 0.1 = 5.3 \times 10^9\text{円} = 53\text{億円/年}$$

4) プラント比出力の向上

1. 目的

常陽にてPower to Melt試験、計測線付燃料集合体照射試験を行い、燃料照射挙動を明確にし、現在の過度の設計裕度をクリアーにして実用炉同一プラントで10%比出力をアップ（100→110万kWe）させる。

2. 計算方法

(1) 前提条件

- ① 開発期間：15年（56年～70年）
- ② 売電単価：20円/kWh
- ③ 比出力向上試験の対象となる設備の割合：0.6（比出力上昇にともなって必要となるタービン等のコンポーネントの開発分0.4を除く）
- ④ プラントを10年間延長させるための本照射試験貢献度：0.8

(2) 10年延長の利得

$$\begin{aligned} & 20\text{円/kWh} \times 0.6 \times 0.1 \times 1 \times 10^6 \text{ kW} \times 24\text{h/日} \times 365\text{日/年} \times 40\text{年} \times 0.75 \\ & = 3.153 \times 10^{11} \text{円} \end{aligned}$$

(3) 常陽の成果

$$\frac{3.153 \times 10^{11} \text{円}}{15} \times 0.8 = 1.68 \times 10^{10} \text{円} = 168 \text{億円/年}$$

添付資料-2. 工学的試験

1) 安全性試験

(Hypothetical Core Destruction)

HCDの否定 → 格納容器合理化

格納容器の建設費は、全建設費の9%程度とすると (JOYO実績),

$$9000\text{億円} \times 0.09 = 800\text{億円}$$

これがHCDの否定により、合理化できるとすると、少なくとも半減すると考えてもよい。

(天井クレーン等は必要である。)

$$800 \times 1/2 = 400\text{億円/基}$$

FBRの寿命を30年とすると、

$$400/30\text{年} = 13\text{億円/年基}$$

$$13\text{億} \times 30\text{年} = 390\text{億円}$$

2) 燃料破損試験

燃料の破損運転が許容されないと、燃料の破損のたびに1週間程度の運停を余儀なくされ、稼働率、設備利用率が低下する。

推定停止日数は最低で	停止, 諸確認	1日	
	FFDL	2日	
	燃料交換	2日	計7日を要する。
	起動前確認, 起動	2日	

FBRの売電単価を20円/kWh, 発電容量を1000MWe (10⁶kW)とすると、1回の燃料破損停止による電力会社の収入損失は、

$$20\text{円/kWh} \times 10^6\text{kW} \times 24\text{h/日} \times 7\text{日} = 33.6\text{億円/回}$$

やや過大かもしれないが、FBR1基が1年間に平均1回燃料破損が起きるとすると、燃料破損運転を許容することで、30億円/年・基の損失をなくすことになる。

$$30\text{億} \times 30\text{年} = 900\text{億円}$$

3) FFD/FFDLの開発

稼働率を0.3%向上したとする。

$$20\text{円/kWh} \times 1 \times 10^6\text{kW} \times 24\text{h/日} \times 365\text{日} \times 0.003 \times 30\text{年} = 150\text{億円}$$

ここで、

$$\text{発電単価} \quad 20\text{円/kWh}$$

発電容量 1×10^6 kW 実用炉

4) 地震時応答特性試験

年間発電原価 $20 \text{円/kWh} \times 1 \times 10^6 \text{kW} \times 24 \text{h/日} \times 365 \text{日/年} = 1000 \text{億円/年}$

岩着していない発電所では、これが1%低減できるとすると、

$1000 \text{億/年} \times 0.01 \times 30 \text{年} = 300 \text{億円}$

添付資料－3. システムの開発・実証

1) 運転支援システムの開発

年1回の操作ミスによるトリップを適切なガイドにより防ぐとする。これにより2日間の運転ロスを防止したとする。

1日当りの売上げは、

$$20\text{円/kWh} \times 10^6\text{ kW} \times 24\text{h/日} = 4.8\text{億円/日}$$

従って $4.8\text{億円/日} \times 2\text{日/年} \cdot \text{基} = 9.6\text{億円/年} \cdot \text{基}$

$$10\text{億} \times 30\text{年} = 300\text{億円}$$

2) プラント合理化検討

発電原価1%低減の効果ありとする(2.4)項に同じ。

$$1000\text{億円/年} \times 0.01 \times 30\text{年} = 30\text{億円}$$

3) 使用済燃料貯蔵技術開発

缶詰缶、缶詰設備の省略による経費節減

$$90\text{億円/基} \rightarrow 3\text{億円/年基}$$

(燃取系 500億円の約20%)

計 3億4千万/年基

$$400\text{千円/本} \times 100\text{本/年} \rightarrow 4\text{千万円}$$

4) 炉心設計合理化検討

炉心内流量配分のホット・スポット・ファクター(被覆管温度に対し)を1%切り詰め効果を期待。

この1%切り詰めは、発電原価を0.25%低減する効果が有る(本件については、(技)池上のSNレポートが印刷中である)。

$$1000\text{億円/年} \times 0.0025 \times 30\text{年} = 75\text{億円}$$

添付資料 - 4. 運転・保守経験

1) 工学的安全係数の見直し

1.20から1.15と、5%の低減が可能であった。したがって、3, 4)項と同じく

$$1000億 \times 0.0025 \times 5 \times 30年 = 375億円$$

2) 格納容器全体漏洩率試験 (ILRT) の基準化 (1回/年 → 3回/10年)

(1) 稼働率の向上による寄与

30年間に於けるILRTの基準化により定検工程が短縮される日数は

$$15日 \times (30 - 9) = 315日$$

その結果

$$20円/kWh \times 10^6 kW \times 24h/日 \times 315日/炉寿命 = 1512億円/炉寿命$$

の利得となる。

(2) 経費の節減による寄与

ILRT 1回当たりの経費は

$$0.3億円 (常陽の実績) \times 2 (スケールファクタ) = 0.6億円$$

30年間の利得は

$$0.6億円 \times (30 - 9) = 6.6億円$$

$$(1) + (2) = 1518億円$$

59年度寄与 R & D期間 常陽の分担割合 実用炉30~40年間の利得

190 52~59 1.0 1518

3) 大型Na機器のメンテナンス技術の確立

実用炉運転30年間に大型Na機器の系外引き抜き、メンテナンスを必要とするトラブル又は改造が1回以上あると仮定し、その内の最初のメンテナンスに常陽で確立された技術が寄与するものとする。

経済性に直結する寄与は工程の短縮であり、常陽での経験を生かすことにより未経験の場合の工程(3ヶ月)が1ヶ月短縮される。

その結果、

$$20円/kWh \times 10^6 kW \times 24h \times 30日 = 144億円$$

の利得となる。

59年度寄与 R & D期間 常陽の分担割合 実用炉30~40年間の利得

48 57~59 0.8 144

添付資料－5. 運転・保守技術

1) FBR運転員の養成

「常陽」の運転、運転訓練シミュレータによる訓練及び原子炉理論、ナトリウム技術等の教育によってFBR運転員を養成した。これをBWR運転訓練センター（福島県）並みの訓練費に換算すると59年度分の寄与は次の通りとなる。

① 運転訓練，教育

$$8,900\text{千円/人} \cdot 3\text{月} \times 10\text{人} \times 12\text{月} = 356,000\text{千円}$$

（BTC訓練費）（運転経験者平均）

② ファミリー訓練

$$3,000\text{千円/family} \times 6\text{日} \times 4\text{family} \times 24\text{日} = 48,000\text{千円}$$

（BTC訓練費）（運転直4Gr）2回/月

$$\text{①} + \text{②} = 404,000\text{千円} \approx 4\text{億円}$$