

使用済燃料輸送費用 ・中間貯蔵費用 について

平成 16 年 1 月
電気事業連合会

目 次

1. はじめに
2. 使用済燃料輸送および中間貯蔵について
 - 2.1 使用済燃料輸送の特徴
 - 2.2 中間貯蔵方法
3. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用見積もりの前提条件
 - 3.1 使用済燃料発生量
 - 3.2 使用済燃料輸送量
 - 3.3 使用済燃料輸送費用
 - 3.4 中間貯蔵費用
4. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用の見積もり方法
 - 4.1 使用済燃料輸送費用の見積もり方法
 - 4.2 中間貯蔵費用の見積もり方法
5. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用の見積もり結果
 - 5.1 使用済燃料輸送費用の見積もり結果
 - 5.2 中間貯蔵費用の見積もり結果

表中の金額、物量等の数値については、表示している数値以下の単位で四捨五入しているため、合計があわない場合がある。

見積もりの前提となる費用で、契約上の守秘義務、発注への影響の考慮のため、提示できないものがある。

1. はじめに

原子力発電所で発電に供されたウラン燃料(以下「使用済燃料」という。)には、燃え残ったウラン 235 が約 1%含まれるほか、新たに燃料に使用できるプルトニウムも約 1%含まれている。このように、使用済燃料は、再度原子燃料として使用することが可能な資源を含んでいることから、「リサイクル燃料資源」とみなすことができる。このため、エネルギー資源の乏しいわが国では、核燃料サイクル路線を選択しており、使用済燃料は再処理することとしている。

使用済燃料は再処理されるまでの間、適切に貯蔵することが必要となるが、貯蔵後は再処理施設への輸送が必要となる。一方、現状の日本原燃(株)の六ヶ所再処理施設(以下「六ヶ所再処理施設」という。)は、年間 800t の使用済燃料を処理する能力を有しているが、今後わが国の原子力発電所から発生する使用済燃料は、年間 1,000t を上回ると想定されることから、一部の使用済燃料については、再処理されるまでの間、中間的に貯蔵することが必要となる。

ここでは、原子力発電所から発生した使用済燃料の六ヶ所再処理施設あるいは中間貯蔵施設への輸送にかかる費用、および中間貯蔵にかかる費用の見積もり方法について取りまとめた。

2. 使用済燃料輸送および中間貯蔵について

2.1 使用済燃料輸送の特徴

使用済燃料は核分裂生成物を含んでいることから、その輸送にあたっては、発熱に対する考慮および放射線に対する考慮が必要となり、さらに、輸送時の安全性を確保するために、放射性物質の閉じ込めに対する考慮も必要となる。このため、使用済燃料の輸送キャスクは、冷却性能、放射線の遮蔽能力、万一の場合に放射性物質の閉じ込める性能が確保できるような設計となっており、輸送キャスクの重量は 100t を超えるものが主流となっている。(図 1 参照)

さらに、放射性物質を含んだ超重量物を取り扱うことから、輸送に使用する設備についても、陸上輸送時に輸送キャスクを積載する車両は特殊な専用車両を使用する必要があり、また、海上輸送を行う際にも船体を二重構造にし簡単に沈まないような専用の輸送船を使用する等、特別な配慮がなされている。(図 2 参照)

2.2 中間貯蔵方法

使用済燃料の中間貯蔵は、基本的に原子力発電所で行われている貯蔵方法と同様であり、プールあるいは貯蔵キャスクによって使用済燃料を安全に貯蔵するものである。また、貯蔵キャスクには、金属製のキャスク(以下「金属キャスク」という。図 3 参照)とコンクリート製のキャスク(以下「コンクリートキャスク」という。)があり、それらを利用する貯蔵方法が検討されている。将来の具体的な中間貯蔵施設の立地に際しては、プール貯蔵かキャスク貯蔵のいずれかの方法が採用されることになるが、キャスクによる貯蔵方法が有力であると考えている。

3. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用見積もりの前提条件

3.1 使用済燃料発生量

今回の算定の前提としている六ヶ所再処理施設の再処理期間は2005年度～2046年度であるが、この期間に六ヶ所再処理施設で再処理される使用済燃料には、2005年度より前に発生し原子力発電所あるいは六ヶ所再処理施設内の貯蔵プールで貯蔵されているものが含まれる。

これら現在貯蔵されている使用済燃料を含めて、2046年度までに発生する使用済燃料は、現在の原子力設備容量に加え、計画のある新增設を考慮した将来の原子力設備容量等から6.6万tと想定した。

3.2 使用済燃料輸送量(図4)

2046年度までに発生する使用済燃料のうち、3.1万t(2004年度までの輸送分を除く)は六ヶ所再処理施設へ、2.4万tは中間貯蔵施設へ輸送される。

2005年度～2046年度に輸送されることを想定した使用済燃料の内訳は表-1のとおりである。

表-1 使用済燃料輸送量の内訳

	輸送量	輸送期間	備考
六ヶ所向け	3.1万t	2005～2043年度	2004年度までの輸送分を除く
中間貯蔵施設向け	2.4万t	2010～2046年度	

3.3 使用済燃料輸送費用

国内の使用済燃料の輸送については、すでに電力各社の原子力発電所から再処理施設へ搬出した実績がある。これは、電力各社と原燃輸送(株)等との使用済燃料輸送契約に基づき原燃輸送(株)等が実施したものである。

今回は、今後も同様の輸送契約が継続されることを想定し、至近の契約実績を基に費用算定を行った。

また、六ヶ所再処理施設の本格稼働に伴い、年間当たりの輸送量が増加すると想定されることから、輸送に必要な輸送キャスク数の増加、輸送船の追加・リプレースを見込むとともに、これらの解体・処分費用も考慮した。

3.4 中間貯蔵費用

中間貯蔵は、金属キャスクによる貯蔵を想定し、1サイトの貯蔵規模は5,000tと想定した。したがって、2.4万tの使用済燃料を貯蔵する中間貯蔵施設は2010年度以降に5サイトが建設されると想定した。また、貯蔵用キャスクの解体・処分費用も考慮した。

4. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用の見積もり方法

4.1 使用済燃料輸送費用の見積もり方法

(1) 輸送に係る費用

① 費用項目

使用済燃料の輸送に係る費用としては、原子力発電所での輸送(使用済燃料貯蔵プール～輸送船への積込)費用、および原子力発電所から再処理施設、あるいは中間貯蔵施設への輸送(積込完了～施設への搬入まで)費用がある。(図5参照)

これらの費用に含まれる主な項目は以下のとおり。

- ・陸上輸送費用
- ・岸壁荷役費用
- ・海上輸送費用
- ・輸送キャスクの使用費用(減価償却費、支払利息、固定資産税等)
- ・運営管理費用(人件費・諸経費)

② 六ヶ所再処理施設への輸送

現在、六ヶ所再処理施設への使用済燃料輸送では、輸送船 1 隻、輸送キャスク 40 基を電力各社の輸送で使用しているが、これによって年間 400t 程度の使用済燃料の輸送を行っている。(表-2 参照)

今後、六ヶ所再処理施設での再処理量に応じた輸送量(800t/年)を確保するためには輸送能力を現状の 2 倍程度に増強する必要があるが、今回の算定では、輸送船を 1 隻追加し、輸送車両等を倍増するとともに、さらに 30 基程度の輸送キャスクが必要になると想定した。

したがって、年間の使用済燃料輸送量が増大したとしても、現在の輸送単価は一定であると想定し輸送に係る費用を算定した。

表-2 六ヶ所再処理施設向け使用済燃料の輸送実績

(単位:tU)

年度	H10	H11	H12	H13	H14
輸送量	8	24	96	340	312
累積量	8	32	128	468	780

③ 中間貯蔵施設への輸送

中間貯蔵施設への使用済燃料輸送は、中間貯蔵施設の運転開始が予定されている 2010 年度から行われると想定した。また、今回の想定では、中間貯蔵施設への輸送に伴い輸送船、輸送車両等が必要としているが、3.4 で示したとおり、輸送キャスクとしても使用できる金属キャスクによる貯蔵を想定したため、①の費用項目から「輸送キャスクの使用費用」を除いた輸送単価を設定し費用を算定した。

④ 現状の輸送効率について

②で示したとおり、今回の費用算定にあたっては、六ヶ所再処理施設の稼働に伴い使用済燃料の輸送量が現状の2倍程度の800t/年に増大するとしている。ここで、現状の使用済燃料の輸送は、輸送船1隻により現有する輸送キャスク40基を使用して実施しているが、現有する輸送船、輸送キャスクでの輸送能力は以下のとおり約400t/年の輸送でほぼ上限に達している。

a. 輸送船の年間稼働可能日数

輸送船の年間稼働日数は、輸送船・施設の定期検査時等の輸送不可期間(むつ小川原港および各原子力発電所)等の種々の制約があり、現状では年間あたり190日程度となっている。(表-3参照)

表-3 輸送船1隻の年間稼働可能日数

365日		
90日	190日	85日
輸送不可期間 ・クレーン等定検時 ・年末年始、GW等	輸送船の稼働可能日数	輸送調整期間 ・他輸送との調整 ・天候調整等

b. 1航海あたりの標準所要日数

使用済燃料を国内各地の原子力発電所から六ヶ所再処理施設へ輸送するためには、使用済燃料入り輸送キャスクの発電所から六ヶ所再処理施設への輸送と、空の輸送キャスクの六ヶ所再処理施設から発電所への輸送を1航海パターンとして考慮する必要がある。

現状ではこの1航海パターンに要する日数は14日程度となっている。(表-4参照)

表-4. 代表的な1航海パターンの所要日数(輸送キャスク6基輸送時)

使用済燃料入りキャスク輸送			空キャスク輸送			
航海	発電所積込み	航海	六ヶ所再処理施設 [むつ小川原港] (積下ろし・積込み)	航海	発電所積下ろし	航海
1.5日	2日	1.5日	4日	1.5日	2日	1.5日

(注)輸送調整日等を考慮しない理想的な場合

c. 輸送キャスクの回転率

輸送キャスク自体の輸送については、a. b. で示したような状況であるが、輸送キャスクの回転率についても年間あたりの使用済燃料輸送数量を制限する要因となる。

輸送キャスクの回転率は、輸送キャスクの輸送に要する日数に加え、原子力発電所での使用済燃料充填作業日数および六ヶ所再処理施設での使用済燃料取り出し作業日数を考慮する必要がある。実質的には、輸送よりも充填・取り出し作業の方が日数を要し、輸送キャスクの保守に要する日数も考慮すると、1基あたりのキャスク回転

率は、年間2回程度(365日/180日)となる。(表-5参照)

表-5 代表的な輸送キャスク1回転の所要日数(キャスク6基同時作業時)

輸送キャスク1回転:約180日(約6ヶ月)					
空キャスク 輸送 (六ヶ所→ 発電所)	発電所構内作業 ・充填前準備作業 ・充填作業 ・発送前検査	使用済燃料 入りキャスク 輸送 (発電所→ 六ヶ所)	再処理施設 ・受入施設で の保管 ・取出作業 ・キャスク保守	輸送 調整日	休日 等
7日	60日	7日	55日	30日	20日

上記 a. b. より、現状では年間あたりの輸送可能回数は、

$$190 \text{ 日} / 14 \text{ 日} = 13 \sim 14 \text{ 回}$$

がほぼ上限であり、1回あたりの輸送キャスク数は6基程度であることを考慮すると、年間あたりの使用済燃料輸送量は

$$13 \sim 14 \text{ 回/年} \times 6 \text{ 基/回} \times 5 \text{ t/基} = 390 \sim 420 \text{ t/年}$$

程度となる。

一方、上記 c. より現有する40基のキャスク回転率は2回/年となることから、年間あたりの延べ輸送キャスク数は80基(40基×2)となり、年間あたりの使用済燃料輸送量についても

$$80 \text{ 基} \times 5 \text{ t/基} = 400 \text{ t}$$

となる。

なお、1回あたりの輸送キャスク数を増やすことも考えられるが、この場合、輸送船への積込み・積下ろし期間が増加し、1航海あたりの所要日数が増加する。また、輸送キャスクへの使用済燃料充填、および、取出し期間が増加することにより、キャスク1回転あたりの所要日数が増加し、年間あたりの輸送キャスクの回転率が低下する。

この結果、年間の輸送回数が減少するとともに、輸送キャスクの総数を増加させる必要が生じるため、現有設備では年間の輸送量を増大させることは難しいと考えている。

- ⑤高レベル放射性廃棄物輸送単価(再処理施設から処分施設の近隣港まで)との比較
総合エネルギー調査会原子力部会中間報告「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」(平成11年3月23日)の考え方等を参考に見積もった高レベル放射性廃棄物の輸送単価は230万円/本となっている。(「高レベル放射性廃棄物の輸送・処分費用について」参照)

一方、後述のとおり、今回算定した使用済燃料輸送費用は92百億円であり、これに相当する輸送数量が5.5万tであることを考慮すると、t当たりの単価は約1,700万円/tとなる。

この両者について、それぞれ輸送キャスク当たりの単価に換算すると、高レベル放射性廃棄物では約0.6億円/基(230万円/本×28本/基)となり、使用済燃料では約0.8億円/基(1,700万円/t×5t/基)となる。

ここで、高レベル放射性廃棄物の輸送単価 230 万円/本には、高レベル放射性廃棄物の処分施設近隣港から処分施設までの輸送費用が含まれていないこと等を考慮すれば、両者の輸送費用に大差はないと考えられる。

(2)輸送キャスク等の解体・処分費用

輸送キャスクについては、全ての輸送完了後その解体・処分を想定し、輸送船は 25 年間使用した後リプレース・解体・処分を想定して費用を算定した。

4.2 中間貯蔵費用の見積もり方法

(1)中間貯蔵施設の貯蔵費用

中間貯蔵施設での貯蔵費用は、「総合エネルギー調査会原子力部会中間報告 ーリサイクル燃料資源中間貯蔵の実現に向けてー(平成 10 年 6 月 11 日)」(以下「原子力部会中間報告」という。)において、試算が行われている。今回の算定では、原子力部会中間報告での試算のうち「キャスク貯蔵(金属キャスク貯蔵を想定)」に係る試算結果を使用した。(表-6 参照)

本算定におけるキャスク費については、使用済燃料 5,000t に相当する費用の総額として試算されていることから、キャスク 1 基の使用済燃料収納量を 10t と想定して 1 基当たりの費用を想定し、中間貯蔵想定量である 2.4 万 t に相当するキャスク(2,400 基)の費用を算定した。

なお、中間貯蔵キャスクの使用済燃料収納容量は、中間貯蔵キャスク取扱クレーンの容量および原子力発電所内使用済燃料キャスクピットの大きさ(直径等)の制限を勘案すると、10t がほぼ上限に近い想定といえる。

表-6 原子力部会中間報告での試算内容

項目		試算方法	キャスク貯蔵費用 (5,000t 規模)
資本費	建設費	メーカー調査を踏まえて試算した概算値	105 億円
	キャスク費		1,195 億円
	解体・処分費	建設費の 10%として試算	10 億円
運転費	維持修繕費	建設費の 1%+キャスク費の 0.1%として試算	238 億円
	一般管理費	人件費及びユーティリティ費の合計額の 10%として試算	
	人件費	必要作業項目に要する作業日数で試算	
	ユーティリティ費	当該施設の運営に必要な電力量のみ試算	

(2)敷地造成費用および港湾施設建設費用

原子力部会中間報告の試算では、敷地造成費用および港湾施設費用が含まれていないため、今回は「特定放射性廃棄物の最終処分に係る拠出金」(以下「拠出金」という。)の試算に用いた費用に基づいて算定した。

敷地造成費用については、拠出金試算で用いた費用を中間貯蔵施設の面積(119,000m²)比率に換算し算定した。港湾施設費用については、拠出金の試算と同じ値を使用した。

(参考:拠出金の試算に用いられた値)

- ・敷地造成費用:43 億円/1,188,000m²
- ・港湾施設費用:188 億円/サイト

(3)貯蔵用キャスクの解体・処分費用

原子力部会中間報告の試算では貯蔵用キャスクの解体・処分費用は含まれていない。このため、貯蔵用キャスクの解体・処分に係る費用は1基0.7億円として、算定を行った。

5. 使用済燃料輸送費用および中間貯蔵費用の見積もり結果

5.1 使用済燃料輸送費用の見積もり結果(表-7)

表-7 使用済燃料輸送費用 (単位:百億円)

費目	費用
六ヶ所向け輸送費	54
中間貯蔵施設向け輸送費	37
解体・処分費	0.5
合計	92

[使用済燃料輸送費用の現在価値換算(2005年4月1日時点)]

割引率	0%	1%	2%	3%	4%
費用(百億円)	92	74	61	51	43

5.2 中間貯蔵費用の見積もり結果(表-8)

表-8 中間貯蔵費用 (単位:百億円)

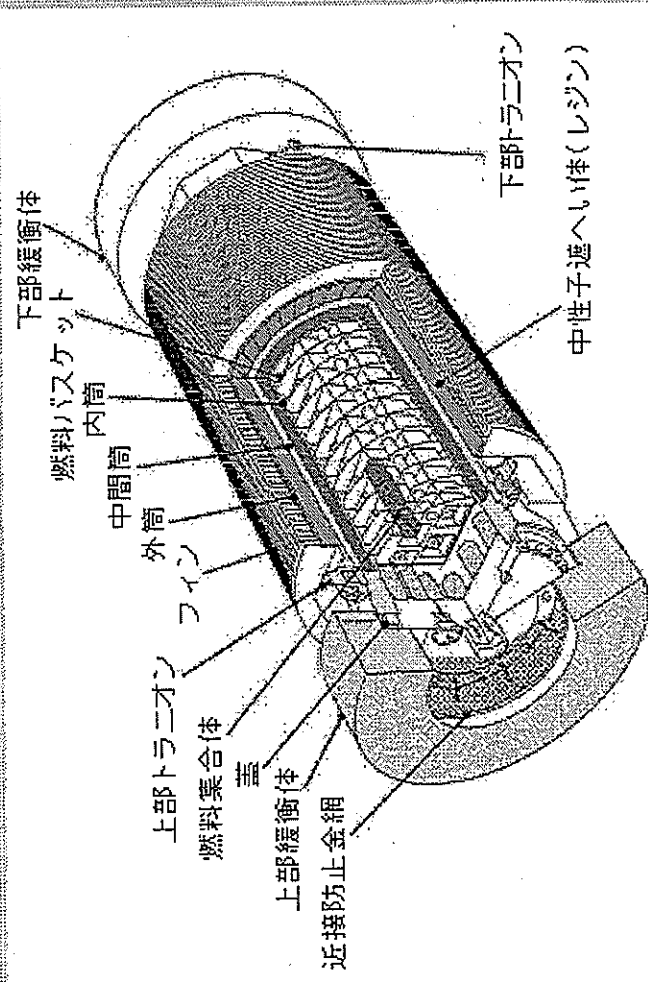
費目		費用
資本費	建設費	5
	キャスク費	57
	解体・処分費	0.5
運転費		12
敷地造成・港湾施設費		10
貯蔵用キャスクの解体・処分費		17
合計		101

[中間貯蔵費用の現在価値換算(2005年4月1日時点)]

割引率	0%	1%	2%	3%	4%
費用(百億円)	101	75	57	45	36

以上

図1 輸送容器の概要



主な輸送容器の概要 (NFT型輸送容器)

(NFT-14P 型輸送容器の場合)

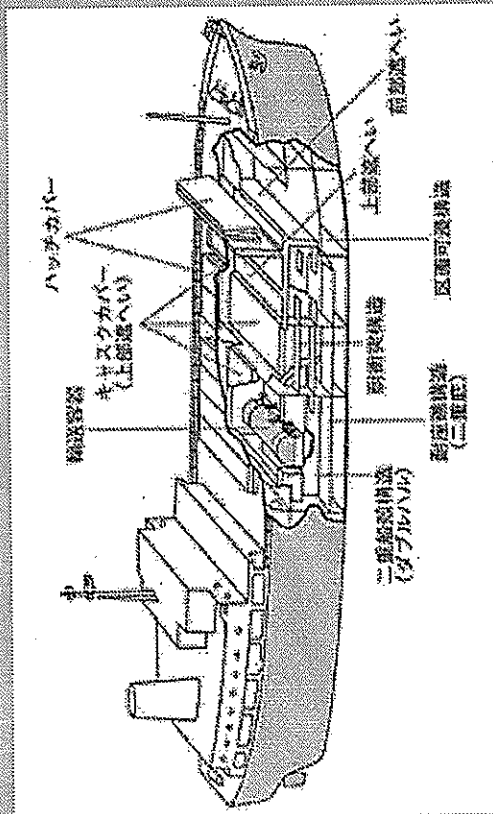
輸送物の総重量	115 t
全長	6.3 m
外径	2.6 m
輸送容器の重量	101 t
燃料集集体数	14 体

- 国際原子力機関 (IAEA) の規則に従って、設計・製作されており、使用済燃料に対する放射線防護などのため頑丈な構造となっている。
- 鍛造炭素鋼や樹脂 (樹脂) などによって内部の放射線を遮へいし、燃料バスケットによって臨界を防止するとともにフィンによって熱を放熱する。
- 厳しい落下試験や耐火試験、浸漬試験などに耐えうる高い信頼性と安全性が確かめられている。

図2 輸送船・輸送車両の概要

主な使用済燃料輸送船の概要

- 安全・確実な海上輸送のために先端技術を投入した専用運搬船を使用
- 安全航行のため、事故を未然に防ぐ装置や自動的に海の深さを測る装置など最新鋭の設備を装備
- 座礁や衝突をした場合でも簡単に沈まないよう、船体を二重構造にするなど 安全性の高い設計・構造を採用
- 輸送容器を積む船倉は、厚い鋼板やコンクリート等でしっかりと囲まれた放射線を十分に遮へいする構造



主な使用済燃料輸送車両の概要

- 再処理工場(中間貯蔵施設)最寄港から再処理工場(中間貯蔵施設)まで、専用車両によって運搬
- 輸送車両は積載する輸送容器が100t以上の超重量物であるため、走行安全性を十分に考慮した設計となっている。
- 安全確保のため、車両には先導車や放射線測定車が伴走

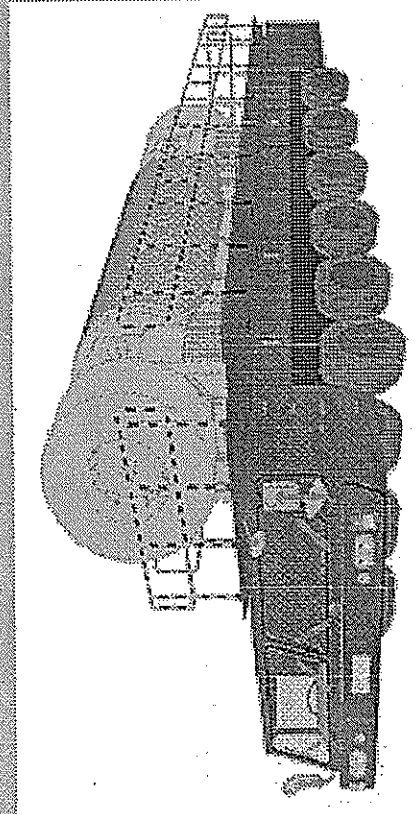


図3 金属キャスク貯蔵(例)

○貯蔵風景



(米国 サリ—発電所)

○キャスク概念図

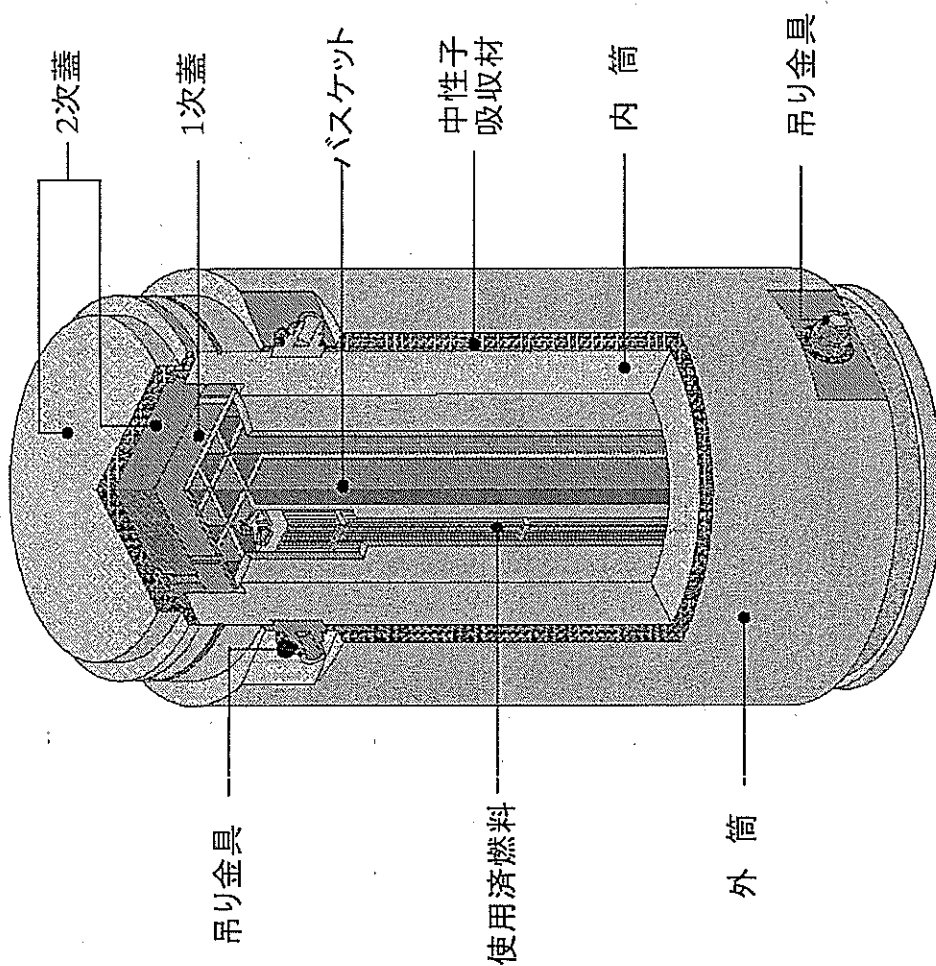


図4 使用済燃料輸送の想定スケジュール

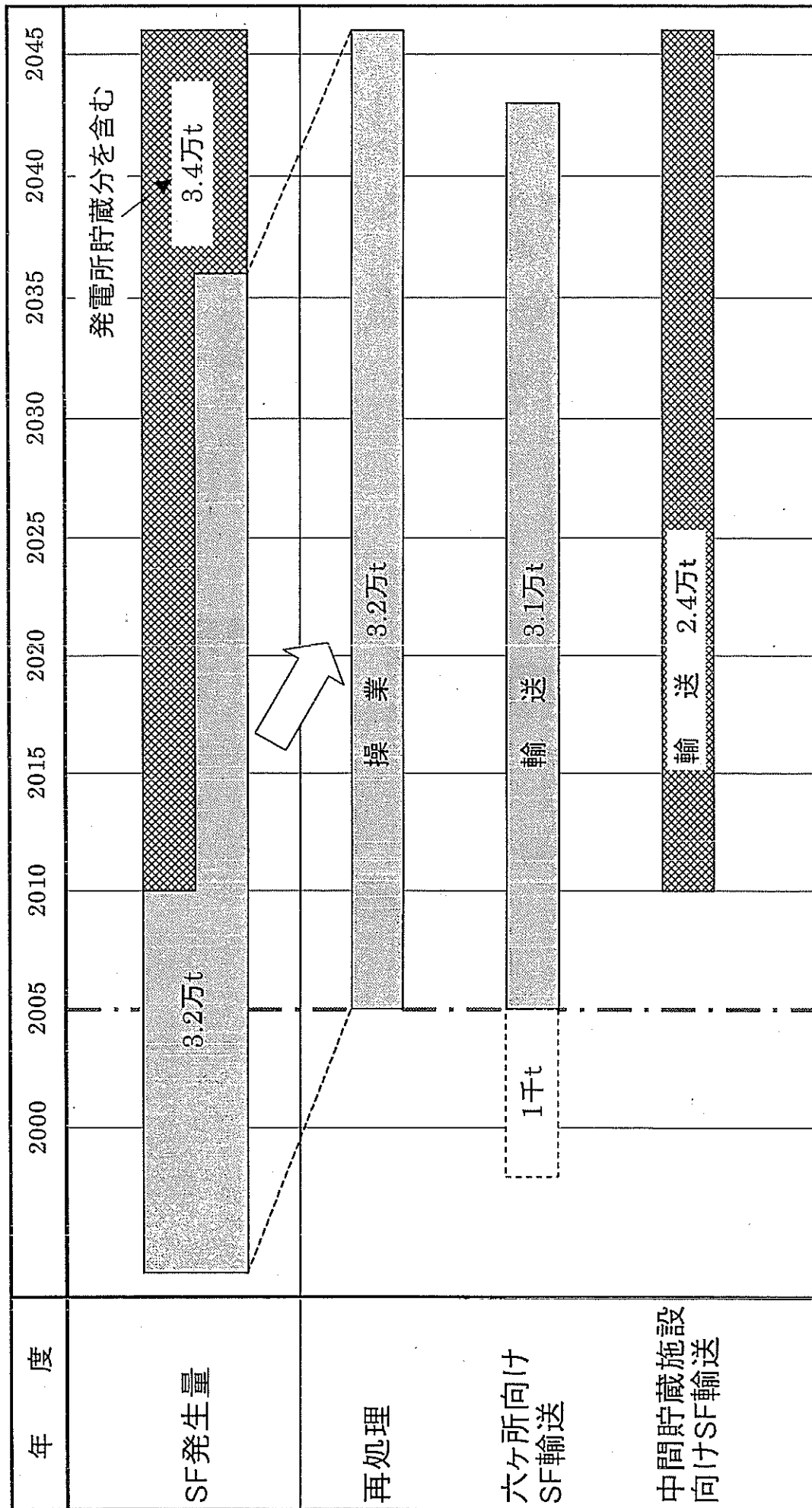
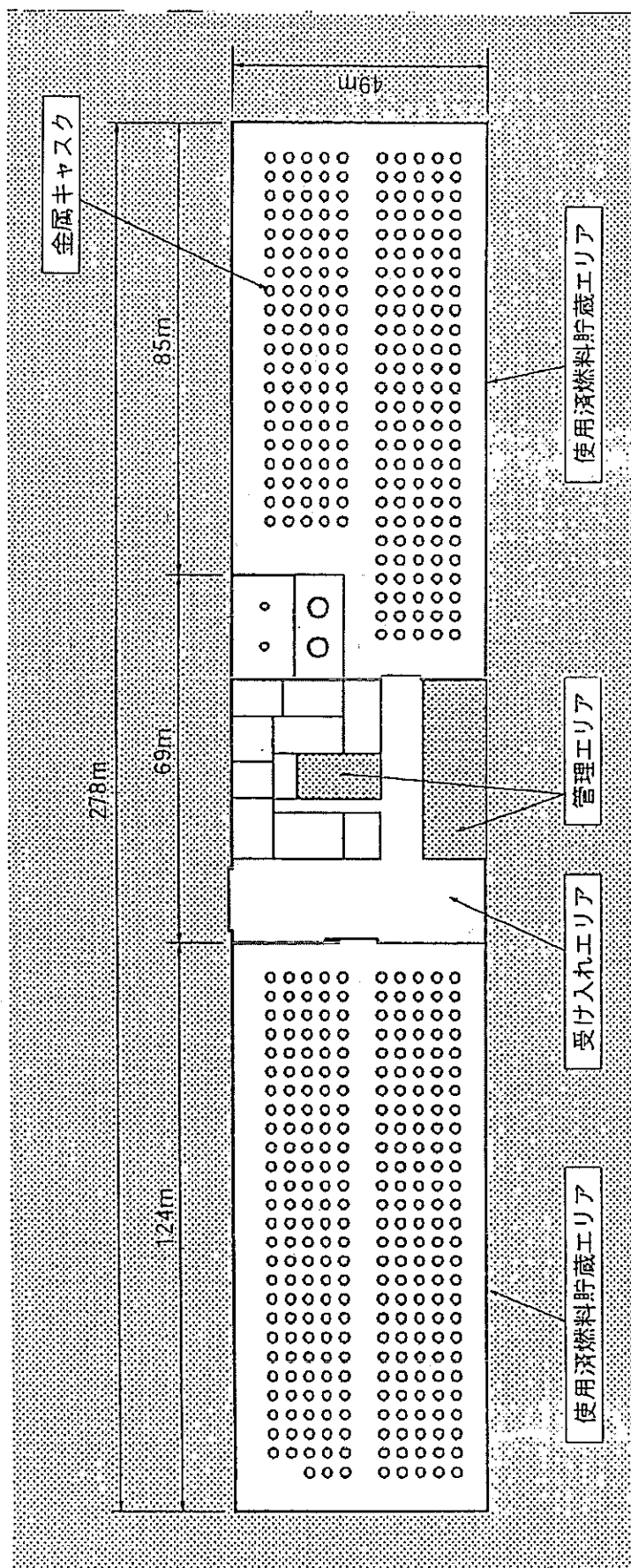


図6 金属キャスク方式貯蔵施設の概念図



キャスク貯蔵施設 (5,000トンU)

原子力部会中間報告(平成10年6月11日)

参考9 「貯蔵能力5,000トンUの貯蔵施設規模の概念図」より抜粋

図7 使用済燃料輸送費用年度展開

(億円/年)

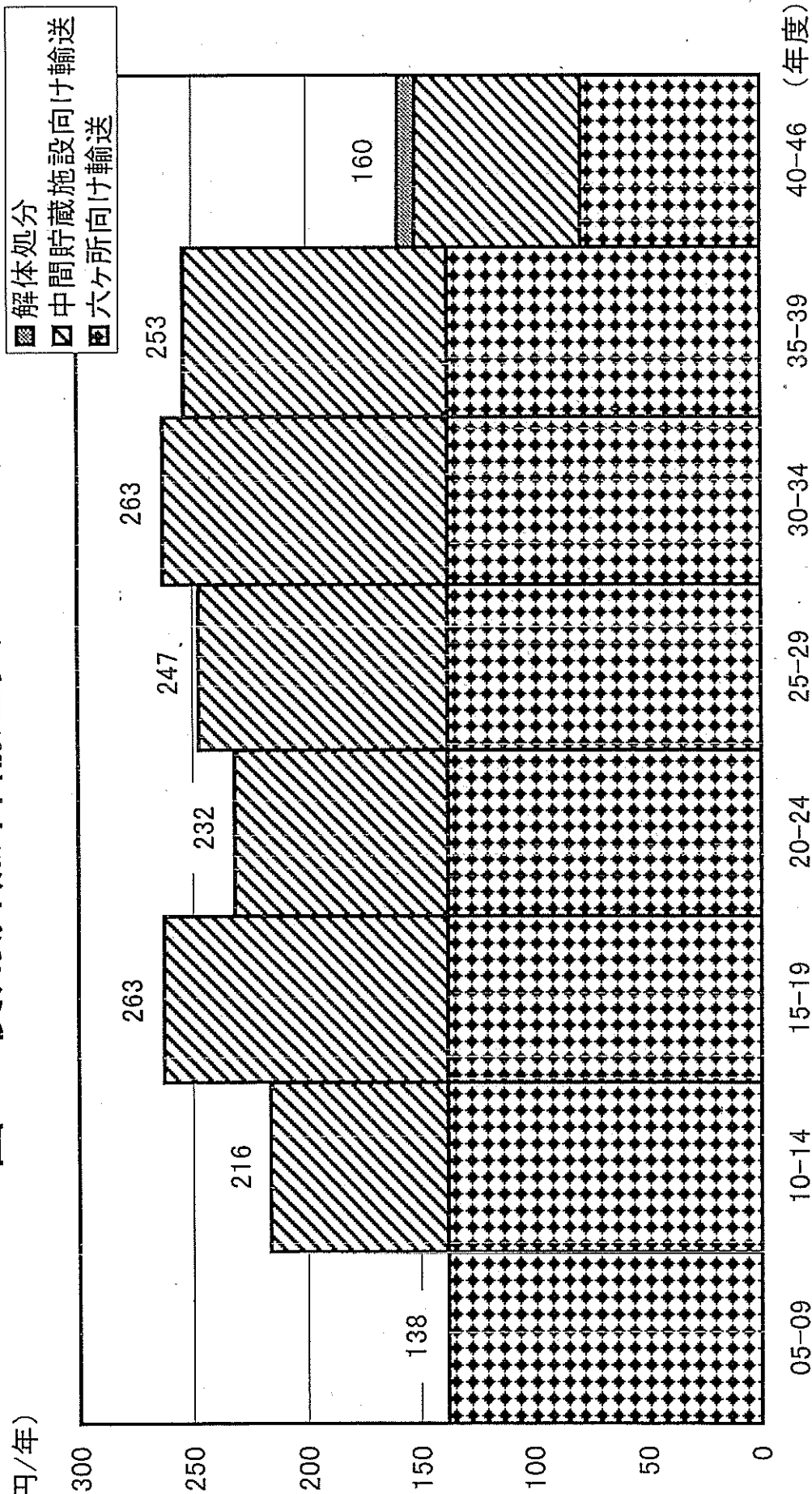
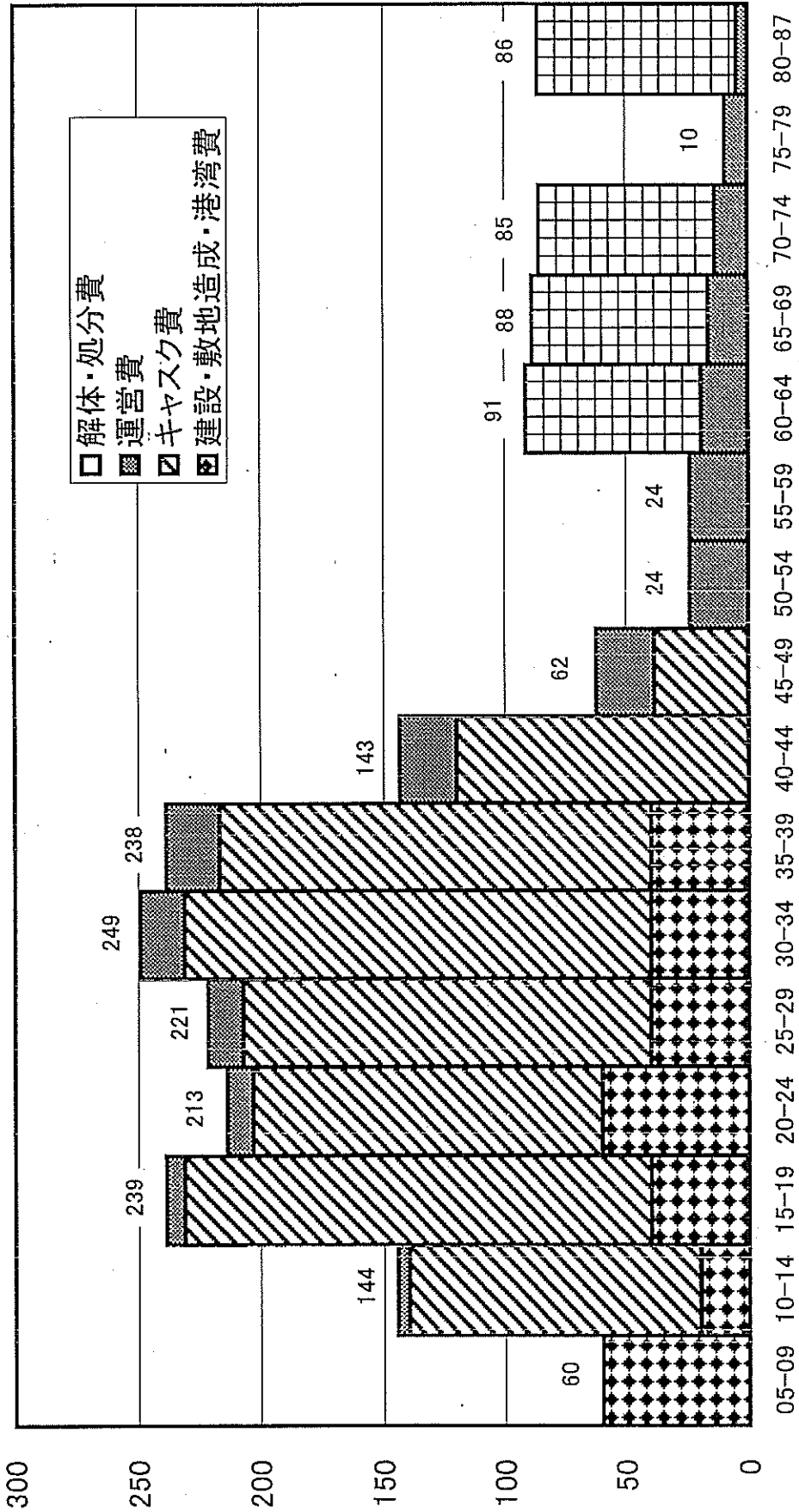


図8 中間貯蔵費用年度展開

(億円/年)



(年度)