

化学 レポート

原子力発電について

SI 913 1403910

牧野 涼一郎

0. はじめに

ここでは、原発について、その原理、経済的な意味、安全性などの側面から考えてみる。

1. 原理及び 原発の各種の形式について

原理は簡単で、 ^{235}U の核分裂反応によって出る熱を伝えて水を沸騰させて蒸気タービンを回して発電する。熱の出る以外は火力発電所と同じです。

問題は、どうやって核分裂反応をおこすかです。 ^{235}U は、中性子が1つあたりに分裂してエネルギーを出し、その時に平均して2.57の中性子をだし、また、出てきた中性子をうまく別の ^{235}U にあてると、連続して核分裂反応をおこせることができます。とはいえ、2.57を全部あててしまうと原子爆発になってしまうので、1つあたり ^{235}U に1つあたり、一定のペースで核分裂が繰り返されるようにします。このために、中性子を吸収する材料(B, Cd等)で作られる制御棒というものがあって、これをいれれば、反応速度を上げたり、おさげたりできます。

もし、天然ウランそのままであれば、連鎖反応を起こすことはできません。その理由は、天然ウランの中には、 ^{235}U は0.7%しかなく、残りはほとんどが ^{238}U で、これは中性子があっても核分裂を起こさないので、そこで、連鎖反応を起こすためには、中性子が ^{238}U にしな

たよりに分けられません。これには 2つの方法があります。

一つは、濃縮と呼ばれる作業により、 ^{235}U の割合を増やしています。原燃はこの方法によります。しかし、同位体であり、化学的な方法で分離することはできないので、 UF_6 化合物にしてガス化させ、拡散する速さの差を存差して少しづつ濃縮する方法がとられています。これはなかなかたいへんな作業で、例には現在の商業用軽水炉で必要とする濃縮のウランを得るためには、そのウランを使って得る電力の6%くらいが必要である

と一つは、中性子に細工をすることで、中性子は速くおとされ、原子核への吸収確率が下がります。おとすには、 ^{235}U のほかに別の核種があります。そして、おとすには、天然ウランでも連鎖反応がとれます。遅くする方法は、黒鉛か水(重水と区別して軽水と区別が多い)や重水の中に中性子を飛ばし、その中の原子とぶつかって遅くするので、

たいては、アメリカでフェリスが作った最初の原子炉では、金属ウランを、黒鉛の棒に囲った穴に置いて、それをたくさん積み重ねる構造になっています。日本でも、最初に作った原子炉である東海一号は、この型です。

東海一号以外の日本にあるほとんどの原子炉は、軽水を減速材に使っています。軽水はウランが中性子を吸収するので、天然ウランではためて、前述のように3%濃縮のウランが用いられます。そのウランを酸化ウランにして、セラミックの、 ZrO_2 - UO_2

α合金の直径1cmの17°に削られた燃料棒を
 これを200本ばかりまとめたものが、20kgの原子炉
 (図1)
 の中に入ります。ジルコニウム合金、一般的に燃料材料
 を使えば、放射線による損傷をまじるためです。
 7. 連鎖反応が止まれば原子炉は重水炉でいい。
 9. 7.2を止めたために水に熱を伝える存在と見なす。
 東海一号炉の黒鉛減速炉では、CO₂が冷却材あり。

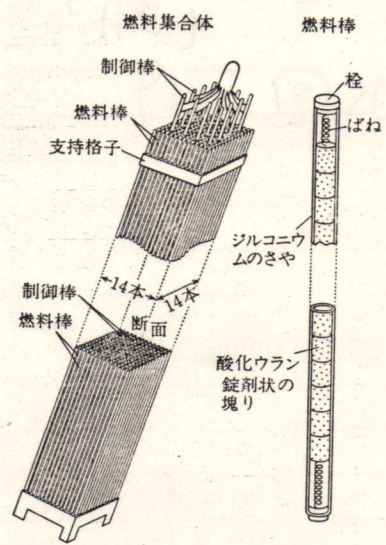
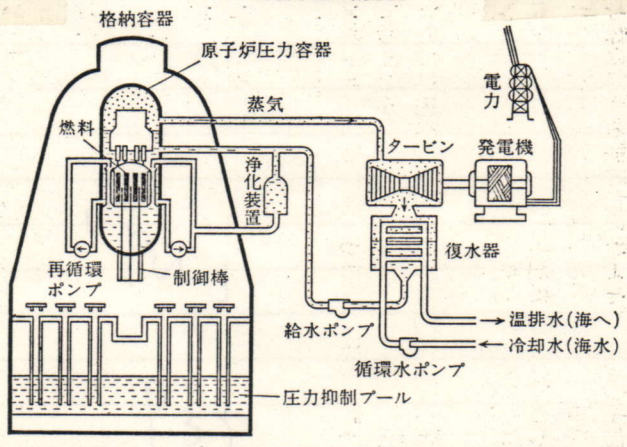


図20 美浜2号炉の燃料集合体の構造

沸騰水型の概念図



加圧水型の概念図

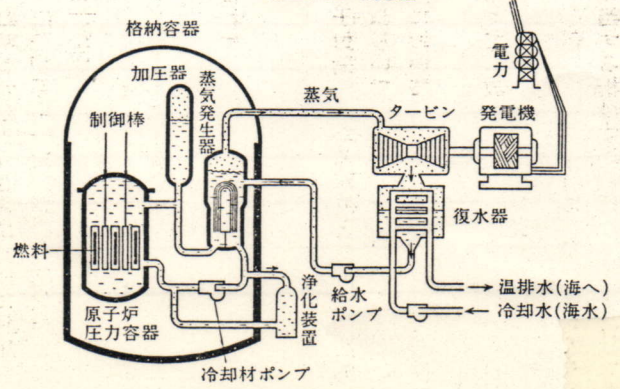


図2-2 沸騰水型と加圧水型原子炉

軽水炉では、減速材の水が冷却材
 を兼ねる。2つを言って、原子炉の
 中蒸気を出して、その熱をタービンに回す物
 (BWR:沸騰水型) と、原子炉を
 熱交換器(蒸気発生器)で、その熱
 をタービンを回す水に伝える物
 (PWR:加圧水型) があります。

軽水炉でも、重鉛-ガス炉でも、早く ^{235}U を燃焼させて、 ^{238}U は使いたしません。
 以上、 ^{238}U は中性子を吸収して、核分裂をせず ^{239}Pu になります。だから、原子炉
 の中で多く中性子を吸収すれば、 ^{235}U (または ^{239}Pu) が 1つ分裂するたびに、1以上の ^{238}U
 が、 ^{239}Pu になるようにできます。この場合は、 ^{238}U も全部使えるようになります。

これを実際に作るのが、高速増殖炉です。高速、と云って、 Pu がとととと
 わけではなく、高速中性子を使うという意味です。高速増殖炉
 の場合、構造は軽水炉と類似していますが、冷却材は
 中性子を減速しなく、また冷却効率の大きい溶融ナトリウム
 を用いるので、燃焼料は高濃縮のウラン、プルトニウム
 混合物の酸化物を用います。そして、その中に
 ^{238}U でかきまわっている材(図)。以上、おもしろい、
 水蒸気でタービンも動かして、蒸気発生器の代わりに
 ステンレスの管はねをはいて高温の水を動かすか
 流れる形です。

2. ウラン資源の量について。

週刊誌の記事を見れば、よく「ウランは石油と同等分」

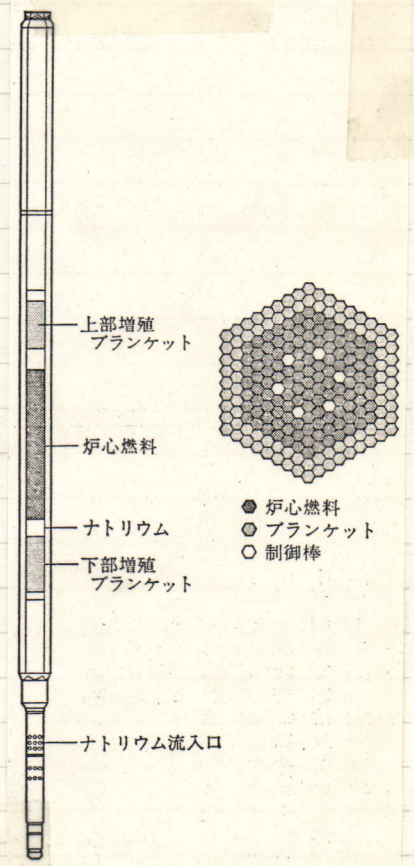


図 5-2 高速増殖炉の炉心と燃料体

なとこの PR があります。出たエネルギーの量を単純に考えます。ために考えようです。

例えばの話、石炭は炭鉱から採れたら使えますが、~~ウラン~~ウランのほうは鉱石を掘って、それを精錬したり濃縮したり... (この作業があります。今掘っているウラン鉱石の品位は 0.2% 程度であり、 ^{235}U はそのうち 0.7% なので、ウラン鉱石 1g なら、

$3 \times 10^6 \times 0.002 \times 0.007 = 42 \text{ (g)}$ の石炭に相当するわけです。これも精錬、

濃縮の過程でロスが出ると、エネルギーがなくなるので、もっと量は必要です。

また、ウラン資源の量は少ない。1999年版の原子力白書によると、1kgあたり 130トンの以下

で採掘できる量が、推定 430トンとされています。1kgあたり 130トンのウランが

具体的にどのお意味をもつかは、判りませんが、一応この数字をもとに考えよう

です。単純に石油に換算すると、63兆バレルとあり、石油のほうは 2兆バレルと

とされています。つまり石炭はウラン 7.6兆トンとあり、石油 40兆バレルとあり、

高濃縮燃料が 9兆トン、ウランは石油 0.5兆バレルとあります。

換算数字を比較するには、お存りの量があります。

3. 原発の経済性について

ここでは、原発が本当にエネルギー源であるかどうかについて考えます。もし原発が

出る電力の半分、建設したり、維持するための必要は全エネルギーより小さいなら、原発は、

エネルギー源であるとは言はくんでした。

たとえば、AECのエネルギー研究開発局の1976年の報告に、上の問題を計算したものがあります。それによれば、1003kWのPWRで生産されるエネルギーは、必要とするエネルギーの約4倍です。必要とするエネルギーは当然石油の形で供給されるのですが、その石油で火力発電所を動かしたとして、得る電力は原発の場合の1/3のくらいと推定されています。

丸山由紀によれば、この計算は非常に楽観的なものであると云う。丸山由紀の指摘する問題点には、次のようなものがあります。

- 1) 原発の寿命期間30年、設備利用率61%としているが、AECの実績では10年たてば稼働も同然だし、利用率も平均れば40%くらいしかない。
- 2) 発電所の維持、管理のためのエネルギーが、どこまで必要なのかを前提にしているが、実際はそれ以外に、その修理のためのエネルギーが、かなりの量に達する。
- 3) 廃炉の処分、廃物の処理、保管のためのエネルギーが、考えられている。

これらの問題を考えると、火力発電所よりも石油を食うことになるのではないかと推定されます。

高濃縮核燃料の再処理工場が、まだ稼働していない現状、濃縮工程のコストは無視し得ない限り、さらに再処理費用が入ってくるわけだし、発電コスト自体、軽水炉とは違うので、言合はかかっています。また、これも放射性の廃物をどうするのか、はたして

見込みが立っていないので、コストの計算自体が不可能だと私は思います。

4. 廃物の問題

TVや新聞の記事で、原発の敷地の中にドラム管が埋め込まれているのを見ることがあります。あれは低レベルの廃物とされるので、その内容は、原子炉系から出る廃液を貯めておくためのドラム缶、点検、修理などの作業に使用した衣服、器具などです。これが日本だけですでに30万本もたまっているのです。いわゆる「海洋投棄」といのは、最近問題になっているのは、このドラム管を海に捨てるかどうかということです。

もし、低レベルの廃物は、放射性物質の量には、次に示す高レベルの廃物に比べれば、桁外れに少ないです。(たまたま捨てられているというわけではありません。) 高レベルの廃物は、使用済み燃料の再処理の過程から出ます。これは、回収して使ったプルトニウム、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、アメリシウムなど、分裂生成物の7割、ストロンチウムetc.の量は多い。高木仁三郎氏の計算に従うと、以下のようになります。OECDの予測によると

原発は順調に発電して、2020年までに20億kwを23年発電能力をもつようになるという。これに基づいて、放射性廃物の量を計算すると、次のようになります。⁽¹⁰⁾

図のようになります。放射性物質の許容量が、2170kgリットル、10kgリットル-9kgリットルを考慮して(10)。これが、どれだけ大量であるか分かります。

廃物 → 廃棄物の一般的な記載

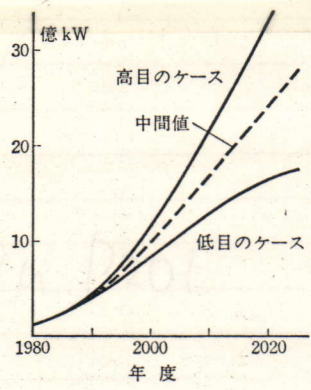


図7-1 原子力発電容量予測 (OECD資料に基づく)

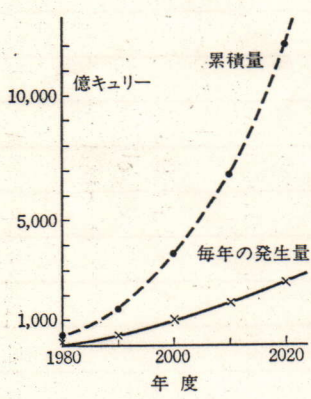


図7-2 放射性廃棄物発生量(すべての形の放射能を含む)

表12 職業人の最大許容負荷

アイソトープ	決定臓器	最大許容負荷(職業人)
I 131	甲状腺	0.7 マイクロキュリー
Cs 137	全身	30
Sr 89	骨	4
Sr 90	骨	2
Pu 239	骨, 肺	0.04

マイクロキュリーは100万分の1キュリー

ゆえ、時間あたりに減らすという、なかなか難しいですね。

これは、時間あたりに、半減期の長い超ウラン元素が残り、

これはもう容易く減らすのは難しいから、この11割を平た

らに下回ります。これは、2020年で厚葬をせよという、廃物

がどうなるかを平たらねば、これを見れば、永久に

たいてい自然界に放出しては存在するということがわかります。

ゆえ、なかなか可能とはいいが、現在のところ、廃物は、

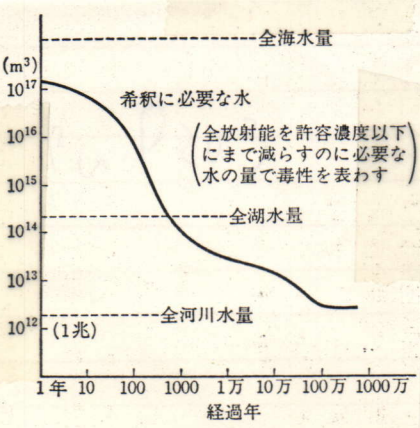


図7-3 放射性廃棄物の毒性変化

廃液のたぎって、タンクにたかぬ、崩壊熱を水で冷やして

たかぬ決めています。タンクの寿命は30年くらいであり、

いつまでもたかぬわけにはありません。ゆえ、何かをやるわけには

1万年以上たかぬ、何かをやることは不可能でしょう。

また、どこに埋めかなくてはなりません。

よって、有価の方法による固化処理が十分に前向きに研究されてはいません。ガラス固化
 も、セラミック固化方法などがありますが、今までのような方法も放射性物質がもたら
 可能性がのこっていて、実用化の段階ではなようです。

他にもウラン鉱山で出る放射能をまいた鉱滓の問題も、温排水の問題もあり、
 廃物の問題は原子力発電として大抵の問題はとれはかかっています。

5. 事故について

原発の安全性についての問題には、2つの面があります。一つは、大事故の可能性
 についてであり、もう一つは、通常運転時に原発や再処理工場から出る放射能の問題です。

通常運転時に出る放射能については、これまでTV、週刊誌等で、リケンや自然放射線が
 少ないから安全という宣伝を見かけます。しかしほんのり問題があります、それは次の通りです。

1) 別に自然放射線は安全だからではないから、よかり低くとも安全にはあてがえない

2) 本当に低い保証はない。

3) 内部被ばくの影響は、自然にある放射能より原発から出たもののほうがはるかに
 大きい。

事故について考える際には、1960年に日本原子力産業会議が出した報告が、1つめです。
 1になるでしょう。次のページの図のおおむね立地条件から、表のおおむね値が予測されています。

方法: 1000万キロワットの放射能は、163kwhの重水一号炉が内蔵する放射性物質の2%に

あたり、5万に2重水2号は1105kwhです。

この立地条件自体、仮想では、重水1号

で、大抵は、重水2号に近づける。

この表で「要観察」(h)のは、25-100kmの

放射能に付いて、半数致死量は300km

くらいです。したがって、重水2号、放射性物

質の2%が、この表の「要観察」の

人が死ぬかと思われている。でも、これは

将来に付いて、放射性の降下は、

放射性の物は、一切は、ありません。

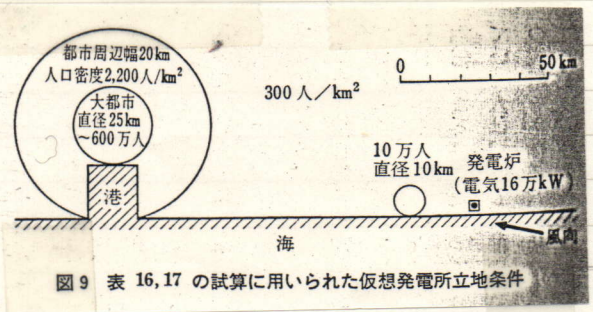


図9 表 16, 17 の試算に用いられた仮想発電所立地条件

表 16 発電炉事故による災害の評価——急性障害 (人数)

	全放出			揮発性放出		
	死亡	障害	要観察	死亡	障害	要観察
粒度大						
気温通減 乾燥	—	67	2,700	—	—	6,700
” 雨	—	15	1,300	—	—	3,700
気温逆転 乾燥	8	90	1,400	5	163	1,900
粒度小						
気温通減 乾燥	—	—	6,780	—	—	3,100
” 雨	—	—	6,600	—	—	3,100
気温逆転 乾燥	540	2,900	4,000,000	720	5,000	1,300,000

日本原子力産業会議, 1960
熱出力50万キロワット(電気出力16万キロワット)の原子炉の場合、放射性物質の放出を1,000万キュリーと仮定し、「全放出」の場合と「揮発性放出」の場合を示した

表 17 発電炉事故による災害評価

	全放出				立退き
	立退き	耕作禁止(農村) 半年退避(都市)	農業制限	全損害金額	
粒度大					
気温通減 乾燥	人	人	平方キロ	億円	人
” 雨	35,300	8,000,000	36,000	11,000	4,200
” 雨	8,700	120,000	170	420	3,800
気温逆転 乾燥	6,200	49,000	240	145	3,200
粒度小					
気温通減 乾燥	96	13,500	350	53	—
” 雨	99,000	17,600,000	150,000	37,300	2,400
気温逆転 乾燥	30,000	3,700,000	36,000	9,630	4,000

日本原子力産業会議, 1960
条件は表 16 と同じ

物的損害

揮発性放出		
耕作禁止(農村) 半年退避(都市)	農業制限	全損害金額
人	平方キロ	億円
108,000	2,700	375
62,000	51	138
16,000	131	55
510	20	23
3,600,000	37,500	5,650
280,000	3,400	1,140

1979年にアメリカのトリニダード島(TMI)で原発の事故が起きました。あの事故はたまたまではなかった(この宣言は正しい)とされていますが、会社側の計算でも1000万ドル、つまり上の表の仮定と同じだけのカスタムがとれている。日本の計算によると、また1億2500万ドルに達するといわれています。つまり、車海村であの程度の事故が起きたら、最悪の場合、車にも被害が及ぶといわれています。

6. おまけ

私が見たのはこれだけですが、原発は今にもっと危険な技術であり、その危険は増えるばかりです。今の状況で改善の意思は少ないといえる結論としておきます。

これはどうですか？ 況のリスクを減らすにはどうすればいいですか？

Very Good

<参考文献>

武谷三男編 「原子力発電」(岩波新書)

高木仁三郎著 「プルトニウムの恐怖」(リ)

室田武著 「原子力の経済学」(日本経済新聞社)

原子力委員会編 「昭和54年版原子力白書」

速原健・今中孝二 「原発事故による放射性核種からの放出」(岩波書店「科学」1982 P42-52)