

1988.2.25

原子力発電の諸問題

日本物理学会編

1.3. 原子力安全論争の行方

東海大出版会

森 一 久

昭和30年代初頭、日本がはじめて原子力開発に着手したころは、軍事利用の排除問題と並んで安全問題についても活発な議論が展開されたが、内容はきわめて具体的であり、その結果が安全評価や設計の変更に反映されたものも少なくなかった。しかしその後は、技術分野の拡大と専門化が進んだためか、開発を進める側の内部での検討は別として、いわゆる原子力発電の安全論争は、もっぱら一般的あるいは理念的なものにとどまっている。そしてその大部分は、外国(主としてアメリカ)からのニュースや国内のスクープ記事に触発されたもので、発電所側の情報秘匿や安全規制の不充分さが攻撃される形となって、開発側や規制当局の姿勢を正す効果はあっても、必ずしも具体的な成果というようなものは生まれなかった。昭和55年(1980年)以来制度化された原子力発電所設置許可に関する二種類の「公聴会」も、同様な状況といえるであろう。

このような安全論議が具体的かつ実効あるものになる上では、次の二つの側面が重要ではないかと思われる。その一つは上記のことにも関係するが、安全性に関連する資料・情報の提供の問題である。最近では安全審査や運転管理の資料もかなり積極的に公表されるようになったし、よく商業機密との関係がいわれるけれども、開発当事者側と批判する側との間で然るべきルールが合意できれば、充分解決しうる問題ではないかと思われる。

もう一つのもっと基本的なことは、安全論争において何がしかの共通のものさしのようなものを持てないかという問題である。これについては本文中でその示唆となるような事項について述べるが、考えてみれば情報提供といい「も

1. 原子力発電の経済性と安全性

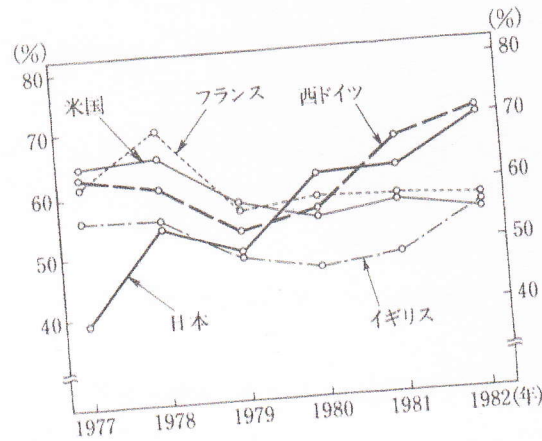
のさし」といい、開発側とこれを批判する側との間に対話ができる雰囲気のようなものが欠如していることに起因している。その理由をさらに考えれば、原子力という新技術の人類史的な意義とか、エネルギー源として見た世界・日本におけるその長期的短期的な役割等々について基本的なところでの相違や誤解が潜在している。

しかし筆者は、原子力開発は在来産業とちがい単に安全性のみならず開発の進め方あるいは社会や文化との関連についても、最大限の英知と対話を結集し合理的なアプローチのもとに進められることが最も重要なことと考えている。原子力開発をめぐる論争が従来のような形をつづけていくなれば、すでにいくつかの国や国内の例にもあるように、それはひたすら政治や補償金交渉の雰囲気に利用されることになってしまうであろう。そのことを憂慮しながら、以下に原子力発電の安全性について最近の状況を紹介しながら安全論争のあり方について私見をのべてみたい。

1. 軽水炉の安全管理の現状

現在世界で281基 1億8100万 kW 原子力発電所（80%が軽水炉）が運転中で、他に建設中および計画確定のものが376基 3.7億 kW ある。日本でも25基 1730万 kW が運転中で、57年度前半（4月～9月）は総発生電力量の23%が原子力発電で供給されている。1975年頃には日本の軽水炉では多くの事故や故障が発生し、そのたびに運転停止や改造補修がつづき、設備利用率が著しく低下した（最低は1977年の41.8%）。その主要な理由は、配管の応力腐蝕割れ（SCC）、蒸気発生器細管の減肉、制御棒の支持ピンの劣化破損、燃料棒の曲り等であったが、最近ではそれぞれの原因追及が一段落し、材料、溶接、水質管理の改善やそれに伴う改造が行われ、厳密な品質保証（QA）の全面的採用と相まって軽水炉技術はほぼ定着したといえる（これらの補修、改造により当初建設費に匹敵する費用を投じた発電所もいくつかあるが、それでも石油の急激な値上りのおかげで火力の発電コストに対する経済的優位性を保っている）。

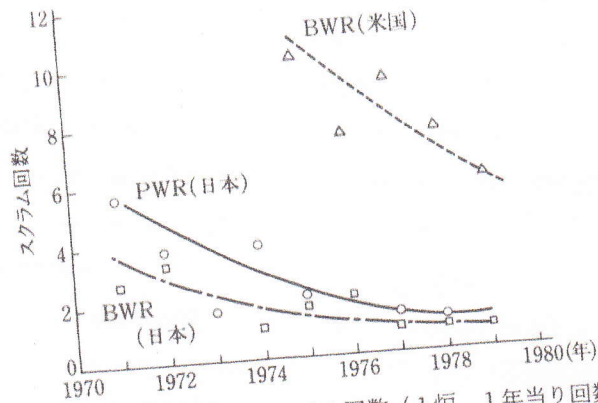
その結果、第1図に示したように、設備利用率も最近一貫してアメリカやフ



第1図 主要国の設備利用率推移 (軽水炉)。
資料：通商産業省資源エネルギー庁編「原子力発電所
運転管理年報」および Nucleonics Week 誌等より作成。

フランス等を凌駕するに到っており、異常事象による原子炉のスクラム緊急停止回数もこれらの国より格段に少ない(第2図)。従業員の放射線被曝量もこれらの改修や検査に伴い一時期増加したが、ここ1～2年それも低下傾向に転じている(1炉・年当り、1978年度の628人・レムを最高に1981年536、その後も減少)。

ひたすらに安全優先に終始してきた日本の原子力発電の安全管理の水準は、



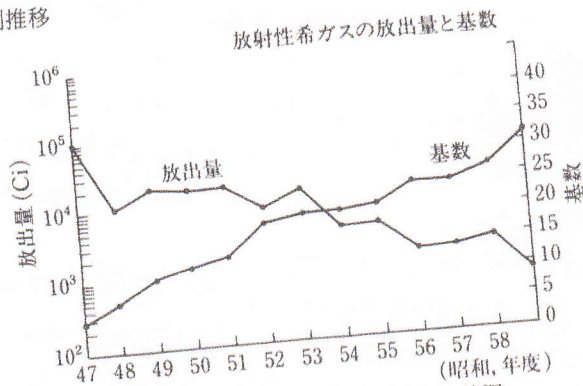
第2図 日米の発電炉のスクラム回数 (1炉, 1年当り回数)。

1. 原子力発電の経済性と安全性

(1) 管理目標値との比較 (BWR, PWR)

放出管理目標値に対する割合	気 体		液 体 (^3H を除く)
	希ガス	沃素(^{131}I)	
	約1/1000以下	約1/400以下	約1/300以下

(2) 年度別推移



第3図 放射性廃棄物放出管理の状況
(前掲通産省資料より)

諸外国のそれとはかなりかけはなれて高いものとなっている。1~2の例をあげると、運転中の軽水炉の炉内の一次冷却水の放射能濃度は、日本では $10^{-4} \mu\text{Ci/cc}$ (^{131}I , 2時間後の値) 以下が普通となっているが、諸外国ではこの値の数十倍の値となっている。これは、日本製の燃料棒の優れた健全性等によるものであるが、そこまでの放射能の極端な低さが、果して安全上意味があるのかという指摘が国際学会で聞かれることもあるようであるが、部品交換時のアク

セスの容易さや異常状態の早期検知などの利点が少なくない。
液体、気体の放射性廃棄物の環境放出も同様であり、実際の放出量は、第3図に示すように極めて少量に管理され、基数の増加にかかわらず、逆にここ10年で1/100に減少し、年間放出管理目標値(敷地境界の放射線量 5m rem/年 以下に対応)の1/100 或いはそれ以下となっている。すなわち、原子力発電所の敷地境界での放射能は自然放射能の1/1000 以下である。(ちなみに周知のように自

然放射能は日本国内でも、地方により50%以上のちがいがある)。

最近欧米の原子力関係者がこのような日本の好実績に注目し、調査のための来日者がふえ、いくつかの国際会議が日本で開催されるようになっていく。

放射線の人体への影響については、学問的にまだ解明されなければならない面があろうし、恐らく何れの学問分野でもそうであるように、学問として際限なく追求が終ることはないであろう。しかし現実の原子力発電所の運転は放射能の面では上に述べたように極度に低い水準で行われているのであって、低レベルの放射線の研究と現実の原子力発電の安全性とを抽象的な話で、直接に関係づけることは、正当な議論とは思えない。たとえば最近、ヒロシマ・ナガサキでの放射線量の評価の見直しが行われており、それ自体、基礎研究として大変重要なことで是非進めるべき研究であるが、それにより放射線のいわゆる許容量に少々の変更が加えられても、現在の原子力開発の安全性に実態的に影響を及ぼすことは到底考えられないのである。

全体的にいつて、原子力発電所の運転の安全性、或いは故障や微量放射能の漏洩にさいしての開発側と批判側の論議がすれちがうのは、現実の安全評価と上記のような基本的な研究成果が(意図的かどうかは別として)混同して抽象的に論じられるためによることが多い。個々の例を列挙するいとまはないが、原子力の安全性を高めまた確認するための基礎的な研究や実験はそれ自体大切なことで大いに推進すべきであるが、それは実際の原子力発電所の安全性とは区別して議論あるいは説明されるべきであって、そうでないと極端な場合「安全性研究の存在こそ危険性の証明だ」式の話になって、とてもフランクな議論を期待することはできないのではなからうか。

2. 事故評価のデータが蓄積

原子力発電所の重大事故の可能性或いはその結果の評価についても、とくに軽水炉について、最近多くの知見が得られ、現実的な分析、評価が出来るようになってきた。1979年3月末のアメリカ、スリーマイル島原子力発電所(TMI)の事故は、想定事故時の環境への放射能放出について貴重なデータを提供しつつ

1. 原子力発電の経済性と安全性

ある。周知のように原子力発電所の内部には大量の放射能が内蔵されており、批判側のある人々は「原爆何発分」という風にセンセーショナルに表現されるのであるが、問題は重大事故時にそのうちどれ位のものが外部環境に放出されてくるかである。現在までの安全審査では、重大事故時には頭から内蔵放射能の大部分が一様に格納容器内に放出されるものと仮定して、原子炉の隔離距離や低人口地域を定めてきた。

しかし、TMI 以前においても主としてアメリカでの事故や実験の結果から、人体に有害な ^{131}I などの放出率は数千分の1以下であろうと専門家の間では推測されていた。それがTMIの事故により実証され、さらにそれでもなお過大評価になっていることが明らかになった。TMIでは、当初原子炉燃料は溶融なしと伝えられたが、テレビによる内部撮影で上半分はほぼ瓦礫状に損傷され、燃料中の核分裂生成物は大量に遊離されていたのは明らかとなっている。にもかかわらず、例えばその中で最も人体に危険度の高い ^{131}I は、希ガスの10万分の1程度しか外部に放出されていない。

人体に影響の少ない希ガスなどは100万キュリーのオーダーで放出されているのに、 ^{131}I などの危険な元素の放出が極端に少ない理由は、すでに推測されていたように、このような元素は同時に化学的に反応性の高い元素であるため、内部の構造物や水や通路等に大量に附着してしまうこと、とくに ^{131}I の場合は同じ核分裂生成物で多量に存在するセシウムと化合して沃化セシウムになり、これは炉中の温水や水蒸気に容易にとけこんでしまうからである。「コロンブスの卵」のような話で、化学的に不活性な、すなわち人間に影響の少ない元素は外部に出やすいが、化学的に活性で人間にも危険な元素は、途中でつかまってしまつてごく少量しか出てこなかったということである。

原子力発電所の重大事故のリスクは、その生起の確率 p と危険度 Q (放出放射エネルギーに比例)の積 $p \times Q$ で表わされる。 p についてもすでに世界で2000炉 $\times$ 年以上(軽水炉)という原子炉の運転経験、さらに部品の大部分が共通の火力発電所等の経験データもあって軽水炉に関しては、かなりの精度で確率を推定できるし、 Q の値も従来の評価は過大であり、また上記のような放出過程の解明で効

果的な装置の開発が可能になっている。

以上のような平常時あるいは事故時の安全評価等については、もし両者が論点をはっきりさせて冷静に話し合えるなら、科学的に討論できるはずであろう。しかし現実には、アメリカなどでもそうでないようであって、原子力規制委員会(NRC)が原子力発電の安全目標(safety goals)案を発表する際、原子力開発に肯定的な委員と否定的な委員の間で最も意見がくいちがったのは、案の内容そのものよりむしろ、案の説明の中に原子力発電の目標リスクは、原子力発電の導入により「癌死が何人ふえる」というセンセーショナルな表現を加えよという否定側の意見と、社会、個人の従来のリスクが原子力発電の導入で「1000分の1しか増えないこと」という説明だけで充分とする肯定側の意見とがくいちがって、全く本質的とはいえないそのくいちがいが「少数意見」として附加されている始末である。

3. 廃棄物対策の見通し

原子力発電を日本のエネルギー源として現在から大幅に導入することに批判的な人の意見として、最近原子力の廃棄物の処理処分の方策が確定していないことに力点がおかれるようになった。原子力発電から出る廃棄物のうち最も取扱いの困難なものは高レベル廃棄物(核分裂生成物と超ウラン元素)であるが、その量はきわめて少ないもので100万kWの原子力発電所の1年分を硼珪酸ガラスの形に固化すれば2 m³程度にすぎず、その放射能もほぼ1000年で天然のウラン鉱石程度に減衰する。固化の方法としては更に進んだ安全性の高いセラミック・メタルや人造岩石も研究されているが、現在技術として完成しすでに試験中の上記ガラス固化体をステンレスのキャニスター中におさめると、10年後の時点で1キャニスター当り発熱量3.5kW位で互いに10mも離して貯蔵すれば自然冷却で地表に安全に大量保管することもでき、もし将来日本に充分長期安全な地層が発見できなかったとしても、技術的には充分対応が可能という見通しはすでに立っているといえる。

西部アフリカのガボン国のオクロでは約20億年前の太古に五つの天然の原子

1. 原子力発電の経済性と安全性

炉が50万年にわたって核分裂連鎖反応をつづけたことが知られている。この地方には70%のウランを含む瀝青ウラン鉱があり、当時の天然ウラン中のウラン235/ウラン238比は3.85%で、現在の軽水炉燃料と同程度の濃縮度だったので、地下水を減速材として天然の原子炉が出来上ったわけである。オクロ地区の地層中の元素分布のデータは核分裂生成物の地層による保持という観点からきわめて重要なもので、1975、1977年の2度にわたって国際原子力機関でシンポジウムが開催され詳細に論じられている。この地域は原子炉のあった地点から数十mのところには断層もあり、岩漿の貫入もあったと考えられるが、生成プルトニウムもほぼ炉の位置にとどまって自然崩壊してしまっている。このようなデータから、たとえ地質学的に或る程度不安定な地層であっても、頁岩層のような吸着作用のよいところなら科学的・機械的に丈夫なキャニスターに封入して処分すれば、充分長期間人間環境からの隔離が保証されることが見通されている。

これに比べると、石炭・石油など化石燃料から生ずる廃棄物は量的にも膨大なものであり、その処理処分は(原子力で考えられるような厳密な意味では)見通しはないといえるであろう。量として膨大なもので100万kWの石炭火力で年間360tの SO_2 、その20倍の CO_2 、大量の粉塵(その中には各種の発癌物質もある)という廃棄物がでる。米議会の技術評価局の1979年報告でも、全アメリカで石炭使用による年間死亡者はほぼ4万8000人に達しているはずとのべている。これらの廃棄物を捕集して、人間環境から隔離することは大変困難で、その上このような化学的有毒物質は、アメリカのラブ・カナル公害事件のデータ分析の結果で明らかにされているように、土壌等では吸着されにくく、人間環境に容易に拡散してしまうやっかいな性質を持っている(ラブ・カナルでの有毒物質の土壌・地下水中の挙動の詳細な分析は、1979~1982のニューヨーク州保健局のいくつかの出版物にくわしい)。さらに CO_2 となると、これを捕集して処理処分することは事実上不可能といってよいが、19世紀以来人類が化石燃料を大量に燃やしつづけたため、すでに大気中の CO_2 濃度は15%程度上昇し、その温室効果によりとくに極地の気温上昇が著しく、それに伴う海水面の上昇が現実

のものとなってきた(この海面の上昇は南極西部の水の融解のためと考えられ、過去100年に約10cmの上昇が観測されている。Science誌 Jan., 15 及び Mar., 26 号, 1982)。この点だけからでも、原子力発電の導入で、化石燃料の使用をおさえることは、地球の将来にとっても極めて有意義ではなかろうか。

誤解されないために付け加えておきたいことは、筆者は何もここで石炭等の利用の危険を強調し、そのモラトリアムを提案しているわけではない。また在来エネルギーの安全性が低いから原子力の安全性も低くしていい、と言っているのでもない。石炭はすでに人類の産業・文化に大きな寄与をしており、以上のようなリスクはその利用によるメリットと(原子力の場合と同様の厳しさで)比較考量して結論を出すべきものであろう。ただ少なくとも廃棄物対策に関するかぎり、原子力の方が石炭等の化石エネルギーのそれより技術データも見通しもはつきりしているということをここでは述べたのである。

4. 共通の標準が必要

以上のべた原子力発電の平常運転時の安全性、事故の評価、また廃棄物の安全な処理処分の可能性について論議するとき、多くの場合互いに共通の物差しをもたないで、問題点の指摘と釈明の議論が交されている。しかしこれら安全性或いはリスクを論議するときは、基本的に在来エネルギーのそれとの対比を念頭において議論しなければ意味をなさないと思われる。原子力発電の安全性を向上させ、リスクを効率的に低減するための研究や努力は、それ自体つづけるべきことは当然であるが、多くの場合原子力発電を大幅に社会に導入しているかどうかという議論に際して、安全性研究の問題点のみがあげつらわれて議論や説明が混乱されてきたきらいもある。

今後もエネルギー供給自体を従来のペースでどんどん増加すべきか(あるいは必要か)どうかについては、私自身も懐疑的であるが、いずれにしても人間社会は一定量のエネルギーは必要であり、問題は、そのエネルギーを何によって供給するのが長期的に最もリスクが少なく合理的であるのか、将来人類の幸福につながるのか、ということにある。

1. 原子力発電の経済性と安全性

石炭、石油をはじめとする在来エネルギーは、原子力のような厳密な安全性の議論の洗礼をあまり受けないで現在まで利用されてきた。SO_xやNO_xや炭水化物の環境安全や炭坑等の事故対策なども現状の改善にあけくれているだけであり、これら物質の毒性の科学的知見や事故のシーケンス(たとえば炭坑のメタン突出のしくみ)の解明など、放射線や原子炉のそれに比べれば極めて貧弱といわれる。最近になってベンツピレンなど多くの炭水化物や重金属に発癌性や遺伝変異性があることが明らかになった程度であり、これら化学変異原でその毒性の定量化が進んでいるのは、ベンツピレン位のものであるが、そのベンツピレンだけについてみても、放射線当量で表わすと都市部では200mr/年位になっている場所はめずらしくないといわれる。

また原子力発電は、本来地表近くに存在していて主要な自然放射エネルギーであるウラン(α 放射能——単位放射能当り毒性の大きい)を採取して原子炉で燃やし β 、 γ 放射能を主とする核分裂生成物に変換しているわけであるから、原子力発電の放射性廃棄物はその全部が地球に新たに放射能を加えることにはならないこと、一方石炭火力は1基で年間数tのウランを開放系で人間環境に撒布していることにも注目する必要がある。

原爆の登場は、人類に戦争というものの本質をえぐり出し、そして結果的に大戦争の防止に一定の役割を果たしている。このように原子力平和利用の安全性論争もまた、環境問題というものの本質を我々に知らせ、真にクリーンな社会への道を開くことになるかもしれない。

付 記

討論会が行われてから今日まで、二つの大きな出来事があった。一つはいうまでもなく1986年の史上最大の事故、ソ連チェルノブイリ原子力発電所の暴走事故と、原子力発電規模が世界の総発電量の1/6を占めるまでに増大したことである。

(1) 原子力発電の増大

世界の原子力発電所は現在約2億8000万kW、その83%は西欧・日本で主流を占める軽水炉であるが、その生産エネルギーは石油にすると4億kl相当、世界の石油貿易量の1/3強に相当する（各国の発電量全体に占める原子力の割合は多い順にフランス70%、ベルギー67%、スウェーデン50%、韓国44%……。日本は25%で11位、1986年）。このような原子力発電の増大は、近年の石油需給の緩和や価格低落の大きな要因となるとともに、化石燃料の燃焼による環境悪化の軽減に一定の役割を果している。フランス政府の発表によると、同国では1980～86年の間に全発電量が40%ふえたのに、大気中への SO_2 放出総量は50%減った（そのうち30%分は原子力発電の導入によるもの、と発表されている）。

大気中の炭酸ガス濃度の上昇による地球の気温上昇、いわゆる温室効果はその経年変化を把握することは、種々の要因やバイアスをスクリーンしなければならないため中々困難とされてきたが、ここ数年この方面の研究が蓄積され、化石燃料が本格的に使用されはじめた19世紀中葉から今日まで、地球の平均気温で 1°C 弱（極地ではその数倍）上昇したとみるのがほぼ定説となっている（この方面の専門家の中で最も体系的な論文とされているものは、P. D. Jones et al.: "Global Temperature Variation between 1861 and 1984", Nature, July 1986である）。

炭酸ガスの発生を伴わない原子力のようなエネルギーの役割は、将来の地球環境の破壊を防ぐ上できわめて重要といわねばならない。

(2) チェルノブイリ事故について

この事故の内容は別稿に論じられている通りであるが、原子力発電所を極端に乱暴に扱ったときの影響をみせつけたという意味で、原子力関係者も大きなショックを受けている。しかしこのRBMKと略称される黒鉛減速軽水チャンネル型大型発電炉は軽水炉とちがい、炉心部の温度上昇が核分裂連鎖反応を昂進させる、いわゆるプラスの温度係数をもつ炉であり、その度合が低出力時にはとくに著しい上に、この運転のむづかしい炉で冒険的といってよい実験を行ない、しかも不十分な知識の人員だけで強行したという異常な実態が明るみに出て、世界の原子力関係者は、当惑をかくし切れないでいる。

1. 原子力発電の経済性と安全性

ソ連側の発表した事故経緯は、論理的には一貫性をもつものである。しかし、当初事故原因が専ら運転員の誤操作にあるようにいられていたが、運転中のものには改造が加えられ、またかつて RBMK の開発、設計の責任者だった人の辞職が目立つ。発電炉計画の中でこの RBMK 型を漸次縮小し軽水炉(PWR)に全面移行する方向も明らかになりつつある(現在運転中のものでは、RBMK 型と PWR 型とがほぼ半々)。

原子力のような革新的な巨大技術は、それが閉鎖的な体制の中で開発利用される場合、安全とくに環境・公衆への安全にかかわる面で基本的な見落とし或いは独善に陥るおそれがある。この事故はその典型を見る思いがする。軽水炉について自由諸国で大きな経験の蓄積と交流が重ねられているとはいえ、安全性について出来るだけ多くの人が参加して論議することの大切さを更めて感ずる。

この事故はまた軍事との関連でも警鐘を鳴らしている。周知のように RBMK 炉は発電と同時に軍用プルトニウムや三重水素を生産するいわゆる二重目的炉であり、そのことがこの炉の特性、管理方法や運転状況にひずみを与え、また外部に対して不透明だった一つの要因とみられる。チェルノブイリ事故後、米国でも類似の炉「N-炉」の運転をとりやめ、安全性を高めるため数十億ドルをかけて改造する予定である。軍事利用と平和利用との峻別は、この面でも大切なことである。

筆者は原子力の安全性確保にとって、体制への過信こそ禁物と思う。ここにいう「体制」とは大は国の政治体制、規制体制、経営形態、さらに研究開発体制、製造体制(品質保証はいうまでもなく)、運転、訓練等々……すべての「しくみ」を含むわけであるが、米国の TMI 事故も今回のソ連の事故も、実に多くのしかも基本的なところで「しくみ」や「取組み方」への過信が作用している。日本の関係者も、今後自らの体制や取組み方を常に反省・改善しながら、現在の高い安全実績を維持・発展させなければならない。

文 献

- 1) 毎年の通産省資源エネルギー庁編「原子力発電所運転管理年報」および Nucleonics Week 誌より作成.
- 2) International Symposium on the Oklo Phenomenon, 1975 および 1977 (文献番号は夫々 IAEA-S-204 および IAEA-TC-119)
- 3) Direct Use of Coal, April, 1979, OTA Pub. No. E-86 (411p.).
- 4) Science 215 (1982) No. 4530, Science 215 (1982) No. 4540.