

原子力平和利用の工業化について

大阪府商工第一課

c114-019

原子力平和利用の工業化について

大阪大学工学部

工学博士 石谷清幹

一 緒 論

原子力の開放が人類史上火の発見にも匹敵する程の重要な出来事であることを今後の歴史が証明するだろうということは、全人類が予感している通りである。原子力工業はアメリカでは現にすでに一大工業であつて、多額の資本（1953年前期には全米国の総投資額の3.5%が原子力関係に投下されている）と多数の従業員を有し、単一部門としては最大の電力を消費しているが、これは完全に軍事産業であつて、平和的目的のためにはその極めて微少な部分だけが利用されているにすぎない。しかし、ソ連の500kW原子力発電所完成のニュースが昨年6月30日に発表されて以来、平和利用についての関心は世界的に高まつてきており、日本からも専門の科
学者より成る調査団が海外に派遣された。日本に原子力工業を興すとするばそれは当然平和利用が目的でなければならない。というのは国民の世論である。現在の日本に平和的目的の原子力工業をおこすことが可能かどうかについて検討するには、政治的ないし経済的な問題の研究が第一に必要であろう。しかし一面またそのような問題の研究のためにも、技術的な問題を一通り検討の必要がある。本講義は、平和目的の原子力工業を日本で自主的に造りあげてゆく上の技術的な根本問題を簡単にのべることを目的とする。

原子力はすでに理学者の研究題目ではなくて技術者の研究問題となつたといわれることがよくあるが、これは決して原子力工業化に理学者の協力がなくてよいという意味でないことはいふ迄もない。しかし原子力工業化に必要な核物理学的資料はすでにかなり公開されており、材料、材料力学、

流体輸送、伝熱、制御法などの部門において新技術を開発しない限り原子炉の進歩が必ずかしいという意味でも、またその他の種々の意味でも、上のように言ってもよい時期になっている。このような技術的諸問題を考える場合には、将来何に使うのかについて一応の見通しを立て、原子力工業の特質に基づいて工業化の方法を考えねばならない。それで先ず将来の主要用途について考えてみよう。

2. 原子力平和利用の本来的用途

原子力は医療用や研究用にも使えるが、原子力平和利用の本来的用途は発電用と考えられる。日本はともかくとして、世界的にみれば、今後20年もたてば原子力はかなり大切な電力源の一つになっているだろうと推定される。その理由は、第一に技術史にみられる法則であり、第二には資源的な理由であるが、今回はそれ以外の技術的理由だけを簡単に説明しよう。

2.1 発電事業は巨大な熱源を要求する。

発電事業の特質の一つは、一ヶ所に集中して巨大な熱源を消化しうるばかりでなく、巨大な発電所の方が経済的にも有利なことである。

例えば現に尼崎市の海岸のせまい地域に尼一、尼二、尼東の三火力発電所が目白押しにあらんでおり、これらはいずれも戦時中迄に完成していた。その設備容量は尼一が32万KW、尼二が30万KW、尼東が14万KW、合計76万KWに達する。阪神地区にはこの他にも火力発電所が多く、さらに多奈川、姫路の両火力発電所が目下建設中である。尼崎に戦時中すでに76万KWの設備があつたのだから、現在の電力事情から考えても、日本で一ヶ所100万KWの発電所が出現しても決して不思議でなく、すくなくも需要側の受入態勢はできているともいえる。アメリカではTVA (Tennessee Valley Authority) の Gallatin 火力発電所の計画

は実に250万KWである。このような巨大な集中的熱源消費事業は多に類をみない。これは、送電線を通じて広い地域の電力需要を発電所に吸寄せるといふ電力事業の特質の他に、発電所が巨大になる程、熱効率、建設単価、運転経費のあらゆる面において事業的に有利になるという火力発電用機械設備のもつ技術的性質が同時に作用しているからである。例えば1台1万KWのタービン発電機では熱効率を30%以上にすることは至難であるが、1台10万KWにすると40%を超えることができるのである。

2.2 発電事業は急激に成長し、かつ火力重点に移行する。

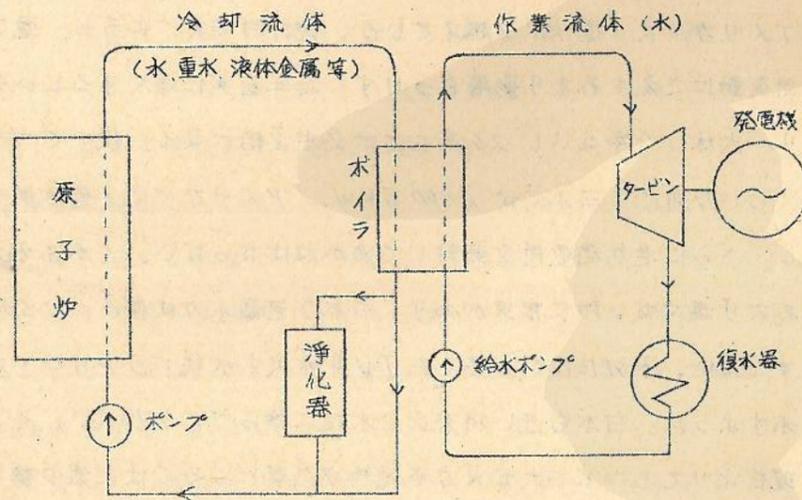
エジソンが1882年に Pearl Street Station で事業用発電をはじめの前にはそもそも電力事業は地球上に存在しなかつたのであるが、その後電力事業は躍進の一途をたどり、日本にも現に1,200万KWの設備があり、アメリカでは1億KWを越えている。統計的事実によると、電力需要は景気変動にさえもあまり影響をうけずに毎年着実に増大するという特徴があり、大体10年ないし20年たてば必ず2倍になる。従つてつぎ15年くらいの間に、日本では1,000万KW、アメリカでは1億KWを新に建設し、さらに老朽発電所を更新してゆかねばならない。しかも水力資源にはあまり遠くない所に限界があり、日本の包蔵水力は僅かに1,500万KWにすぎない。水力だけで出発したTVAが火主水従にうつりつゝある事実が示すように、日本も近い将来火主水従に換らざるを得ない。そこで将来は現在よりももつと巨大な火力発電所が必要になるのは必然の勢いである。

2.3 原子力発電は一種の火力発電である。

火力発電所では石炭や重油をボイラーに焚いて蒸気をつくり、この蒸気で蒸気タービンをまわし、これに直結した発電機で電力を発生するものである。ところで第1図のように原子炉から流体で熱をはき出し、この熱

を熱源に使って蒸気を発生させると、他は普通の火力発電所通りの機械で火力発電ができる。これが原子力発電の原理であつて、この趣旨の発電所模型は大阪市立電気科学館に陳列されているから見られた方もあるだろう。ただし1台の蒸気タービンの出す馬力はすでにその限界真近くに到達しており（目下建造中の世界記録は Detroit 市の River Rouge 発電所向けの30万KW機）、将来は当然外燃式ガスタービンが原子炉と結合して使われるようになると思はれてはいる。外燃式ガスタービンというのは蒸気力発電所の作業流体を水ではなく空気におきかえたものと思はれてはいる。

第一四 原子力発電の原理（蒸気原動機の場合）



2.4 原子力発電には巨大用途の方が好適である。

現在うごいている最大の原子力機関はおそらくアメリカの潜水艦 *Nautilus* 号の推進機関であるが、これと同一原理の原子炉を使う *Shipping port* 発電所が約6万KWといわれるから、*Nautilus*

号の機関の馬力も大体想像がつく。ところで原子力発電には6万KWくらいが好適なのか、またはもっと巨大な所が好適なのかを考へてみよう。既述の通り蒸気原動機は一般に大馬力程あらゆる面で有利になるが、これは外燃式ガスタービンでも変らない。従つて、もしも原子炉の方にさえ大馬力の方が損になる原因がなければ、やはり大馬力の方が有利になる。ところで原子炉固有の難向題は、要するに放射能に附帯する事項であつて、例えば遮へい材、高い煙突、広い隔離用面積、専属の化学工場、修理工場などが要ることであるが、これらはいずれも大馬力になる程馬力当りは減少してくる性質のものである。従つて元来原子力発電には巨大用途の方が好適であると結論される。*Shippingport* 発電所が6万KWというのも決してこれが上限であることを意味するものではなく、あまり巨大なものをおききなりつくることは不可能だからやむを得ず中間的馬力のものをつくられたとみるべきである。

2.5 原子力平和利用の本来的用途は発電である。

以上のように、将来は火力発電所が巨大になる必然性があり、原子力発電は巨大発電所に適する性質があるから、原子力発電所の将来性は甚だ有望だと結論される。さればこそ世界各国で注目されているのである。原子力発電のコストを論じた論文も多数発表されている。ところで電力供給事業用発電所以外にどんな用途があるかというに、船用や航空用にも必ず水利用されるにしても、陸上発電所ほど巨大なものが出ることは、すくなくもこの当分ないだろう。また原子力発電所は山間へき地や砂漠のまん中の油田などで利用されることも予想され、現にアメリカ陸軍ではそのような目的の3000KW原子力発電所の試作品を発注した由であるが、これも全体からみれば主流ではない。また原子炉は医療や研究用アイソトープ製造用にも使えるが、これも主要用途ではない。そこで結局、原子力平和利用の本来的用途は電力供給事業用発電所であると結論される。

将来石炭や重油が地球上からなくなつたら困るという遠大な理想のためにだけ原子力発電が問題になるのではなく、原子力発電を有利とするような有力な原因が現に強力に作用していることは以上で大体諒解されたことと思う。人類百年の大計のためにはいろいろ望ましいことが沢山あつてもその多くが実行されないのは、それを有利とする要因の作用が現在は弱いからであつて、原子力発電では事情が大いに異なるのである。原子力発電を有利とする技術的理由が上記のように強力であるのは、実は人間発生以来の動力史をうごかしている一般法則のあらわれであると筆者は考えるが、そればといつて、そのような基本的法則の発現だから何をさておいても原子力発電の開発をいそげとか、原子力発電開発のためなら何をしてもよいとかいうのでは決してない。原子力発電もやはり一つの事業であるから、その開発のために他の大切な事業が不当に妨害されることのないように注意を要する。まして原子力平和利用をたんに錦の御旗なしはヨロイの上の法衣のように利用しようとする動きには警戒を怠ることはできない。(そのためにも原子力平和利用の技術的諸問題とその影響についての健全な知識が必要である。)けれども同時に、そのように学術が利用されないことの保障をするのは実は科学技術者だけでできることではない。

なお、以上の結論は発電用原子力は将来有望だということになるが、これは必ずしも原子炉を日本が自主的に国産化しうることを保証するものではないことを断つておく必要がある。原子力発電ならざる通常の火力発電でも、現在刈田、多奈川、三重、千葉の4発電所が全部輸入で建設中であつて、国内メーカーは、外国と技術提携をしているものまでも、のどから手の出る思いをしながらもその注文がもらえない華美は大いに教訓的である。しかしここでは技術的事項にだけ限定して考察をすすめる。

3 発電用原子炉の特質

以上で原子力平和利用の目標は判つたとすると、次にはその方策を考えねばならぬ。原子力工業の中核になるものはもちろん原子炉である。そこで発電用原子炉をつくるような原子力工業をつくり出す技術上の方策を考えるには、発電用原子炉の技術上の特質を明らかにしておかねばならぬ。他の機械と同様に、原子炉も多くの種類がある。そしてこの多様性はたんに平面的な、雑然とした多様性ではなく、あたかも生物進化の段階のように、高度のものから簡単なものまで存在するのである。ところで発電用原子炉はどの位置にあり、このためにどんな特質があるのかを考えてみよう。

3.1 原子炉界における発電用原子炉の位置

世界最初の原子炉はシカゴ大学のフットボールスタジアムのスタンド下に *Fermi* によつてつくられたもので、CP-1 とよばれる。1942年12月2日に出力僅か 0.5 watt で運転をはじめたが後には 200 watt に立高められた。建設後数ヶ月で分解して *Argonne National Laboratory* に移設され、CP-2 となつた。CP-2 は外法で 1130' 奥行 32'、高さ 21'、総重量 1400t (たゞし 5' のコンクリート壁を含ま) である。冷却装置がないために定常出力は 200 watt であるが短時間ならば 100 KW にすることができる。

この原子炉は原子炉内の放射能密度も低く、研究用以外の用途には役に立たない。かりにこれを低度原子炉 (*Low flux reactor*) とよんでおく。英国につくられた *GLEEP* 原子炉もこれである。この程度り原子炉建設から原子力工業開発の第一歩をふみ出すのは堅実な方法ではあるが、多くのデータがすでに公表された現在となつては、これは必ずしも必要ではないと考えられる。つまり連鎖反応がおこること自体はいまさらたしか

める必要がないのである。

つぎに1943年に Oak Ridge National Laboratory に X-pile がつくられた。これは4000KWで、原爆製造用の本格的原子炉の pilot Plant として建設されたものである。この中核部は24' 角の立方体に積上げたグラファイトのブロックであつて、空冷され、放射能密度もかなり高い。これをかりに中流原子炉 (medium flux reactor) とよんでおく。英国の Bepo (4000KW) もこれと同様で、その構造はかなり詳細に昨年の Engineering 誌上に発表されている。大きさや冷却方式はさまざまであるが、同程度の中性子密度を有する研究用原子炉は多数つくられている。特に water boiler type の原子炉はアメリカの Babcock 社という有名ボイラメーカーが市販を開始している。

以上の二段階を経て原爆用 Pu^{239} 製造のための本格的原子炉が Hanford に建設された。これは水冷で、巨大であるばかりでなく放射能密度も高い。これをかりに高度原子炉 (high flux reactor) と呼んでおく。材料や構造についてよほど経験をつまないとこの段階まで一気に飛躍できるものではない。

ところで発電用原子炉が可能かどうかは、この Hanford reactor が完成し、広島と長崎に原爆が落ち、その後数年の研究と経験をつんだ後に成つてもなおかつ論議されていた。この歴史的な事実は、発電用原子炉なるものがよほどおもしろいもので、高度の発展段階に属するものであることを雄弁に物語っている。放射能密度からいえばそれは特別高度原子炉 (very high flux reactor) でなければならぬ。作業温度は、既述のすべての原子炉が大体常温で働くのに対して、数百度の高温で働かねばならない。従つて発電用原子炉は特別高度高温原子炉 (very high flux and high temperature reactor) でなければならぬ。(この理由は次にのべる)

これを要するに、発電用原子炉は最高度に発達した原子炉であるということが出来る。

3.2 発電用原子炉に必要な基本的特質

以上のように原子炉界で発電用原子炉の占める地位は最高度に発達した最高の段階であるが、このような地位のものでなければ発電用には使えない理由を考察しよう。

すでに屢々指摘されている通り、原子力発電では燃料費は電力コストの中にほとんど問題にならぬ程安いことはたしかである。それ程燃料費が安いものなら、原子力発電所の熱効率なんかうんと悪くてもかまわないではないが、何も最高度のまづかしい原子炉を好んで使う必要はないではないか、という疑問が起るかもしれないが、そうはゆかぬのである。

それは、効率の悪い発電所が安くできるというのはある程度効率のよい範囲内ではじめていえることで、効率がうんと悪くなれば話は自ら別になるからである。

歴史上はじめて工業的に成功した蒸気機関は1712年の Newcomen の蒸気機関であるが、この効率は1%に達せず、1馬力当りに石炭を10kg/h も食つた。(現在では僅かに0.3kg/h の発電所も珍しくない。) これだけの石炭をたくのはやはりたくだけの設備がなければならず、もえかすもそれだけ多量に始末せねばならず、一切の設備が恐しく巨大になる。記録によると、僅か55馬力を出すために、直径21"、高さ7'10" のシリンダ、直径5'6"、高さ6'1" のボイラ、その他の巨大な一連設備が必要であつた。この調子で100万KWの発電所をつくることは勿論問題にならない。単純に“大気圧で働くのだから簡単だ”などとはいえないことはこの一例でも明らかである。

そこで発電用原子炉は、建設費を節約するためにも、発電所全体の熱

効率がかなりよくなるような設計になつていなければならない。熱力学の原則の示す所によると、これは、基本的には、原子炉からなるべく高温で熱を外部にとり出すべきだということになる。原爆製造用の原子炉では $U^{238} \rightarrow Pu^{239}$ の転換だけが問題で、発生熱量はたんに邪魔物であつた。従つて構造物温度の過昇を防ぎ、核分裂の有効性と炉の安全だけを考えればよいから、多量の冷水を流しこんで冷却すればよかつた。ところが発電用では熱を高温で外部にとり出し、しかも構造物がこわれたりくさつたりしないようにせねばならない。これが発電用原子炉の最大の特質である。

つぎに中性子密度の問題であるが、通常の化学反応と核分裂の著しく異なる点の一つは、核分裂による熱の発生には、工業上問題になる程度の温度は限界にならないということである。重油をたいて高温を発生させる場合には温度を $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上にするには極めて困難であり、それ以上いくら重油をたいても温度は上らない。ところが核分裂の場合には熱の発生速度は主として中性子密度によつて定まり、高温のためにウラニウムがとけようが、酸化しようが、一向おかまいなく、極端な場合には原子爆弾の温度にまで上りうる。従つて発熱速度を限定する要因は實際上発熱体の側には全然ないのであつて、専ら冷却側の都合だけによつて定まるといつてよい。巨大な熱量を発生する場合に、原子炉全体を小さくして設備費を節約しようとするれば、冷却面の面積当りの伝熱量をなるべく大きくせねばならない。それには冷却流体側で特殊の工夫をこらさねばならないが、その工夫の目標は、特別高度の中性子密度で最も急激に発熱している発熱体から充分急速に熱を奪いとり、炉の安全を確保するものでなければならない。これは原子炉の設備費を決定する重要々因である。

以上の説明によつて、発電用原子炉の開発目標としては特別高度高温原子炉でなければならず事実また発達の方はこの線に沿つてゐる理由が

大体明らかになつた。

3.3 発電用原子炉は軍事用に使えるか？

さきに原子力平和利用の主要用途は発電用であることを指摘し、発電用原子炉の基本的特徴を明らかにした。ところで、平和利用のチャンピオンたる発電用原子炉は軍事用に使えるかどうかという問題がある。答は、然り、使える、である。

これは、たんに発生電力が大砲や戦車の製造にも使えるという意味ではない。また移動式原子力発電所は飛行場の急速設置やその他の作戦一般に役立つという意味だけでもない。発電用原子炉の技術によつて軍艦や飛行機用の原子力機関が製造できるという意味だけでもない。

既述のように、原爆材料製造用原子炉では熱は無益にすてられるだけであるのに反し、発電用原子炉では熱を高温で外に取出すは非常な相異であるが、原子炉内部における原子核反応には何等差異はない。二、三年前にアメリカで商業用原子力発電の採算性が盛に論議されたときに、反応の結果生じた核分裂物質つまり原爆材料を政府がいくらで買つてくれるかが問題だということがしきりにいわれた。Shippingport 発電所ではこの問題はいわば政治的に解決されている。すなわち原子炉は政府所有であつて、電力会社は原子力工場で発生した高温高圧蒸気を、電力採算上引合ふような値段で買うのである。将来の原子力発電所が全部このような方式で運営されるものではないであろうが、この実例はよい参考になる。

つまり、原爆材料製造用原子炉は発電に使用できないが、発電用原子炉では原爆材料も同時に生産されるような設計が可能なのである。たゞし、このような増殖式原子炉は簡単につくれるものではない。またつくられた原爆材料は原爆用にしか使えないのではなく、発電用としても甚だ有用である。これが原爆用に使われるか発電用に使われるかは技術の問題ではない。

3.4 先進的技術としての発電用原子炉の特質

現在全世界の知能をすぐつて開発されている技術の分野は決して原子力発電だけではなく、航空機、誘導爆弾などを指摘することができ、原子力発電もこれらに劣らず勢力的に研究されている。このような先進的技術に共通している事項は原子力発電にも共通している。それは (1) 総合的技術であること、(2) 多方面の技術に深刻な影響を及ぼすこと。この二つである。この二つは実は同一事物を二つの側面から見たものにすぎない。つまり (1) であればこそ (2) であり、逆に (2) ならばこそ (1) のような開発方法が必要なのである。このことを原子力発電について簡単にべてみよう。ただし具体的に指摘するのはそのうちの一例だけであるが、第4節以下をみていただければ大要は推察願えるかと思う。

発電用原子炉の開発過程において、濃密な放射能を受けた場合の物質の状態変化に関する知識が必要なることは勿論であつて、このためだけでも物理学者(現象の説明研究方法の案出)、化学者(分析) 冶金技術者(所要の性質を有する物質や処理法の探求) が、自分の担当分野だけでなく他の分野にもすぐれた理解力、洞察力を発揮しながら協力の必要があること、また、これによつて新しい技術が開拓され、その上に新しい科学の花が咲くことは勿論である。ここではそのような万人の眼に明らかなる事例ではなく、他の例を一つだけあげておきたい。(なお、ボイラ研究 29 号、昭29-9、に掲載の拙稿「最近のボイラ技術発達における二つの動向」を参照されたい。)

水は減速材料および冷却流体として原子炉によく用いられるが、水を冷却流体として用いる場合には原子炉から外へ水が流れ出るように配管される。(第2の第1回)。水は中性子や陽子の放射にさらされるから、水にとけている一切の不純物がみな放射能をもつようになる。ところで一切の機械は必ずいつかこわれるものであり、一切の配管は必ずいつかこわれはじ

めるものであるから、その時にはどうしても人が近づいて修理しなければならぬ。そこで原子炉内で放射能をもつに到つた不純物が配管、弁、ポンプなどに附着堆積することは極力防止しなければならない。この見地から高温高压水による腐蝕の研究が徹底的にすすめられ、その一部は最近発表された。

その結果によると、原子炉冷却回路に使われる材料は水にとける速度が年間に $\frac{5}{1000}$ mm 程度以下でなければならぬが、320°C くらいの温度でこれに合格するものは、金、白金、チタニウム、ジルコニウム、コバルトおよびオーステナイト系不銹鋼があげられる。従来の常識では普通鋼材も極度に純粋な水には完全におかされないということになつてはいたが、何しろ金や白金の溶解度を問題にするくらい嚴重なことを云い出すのであるから、この常識は通用しない。またニッケルやクロムも水にとけすぎて不合格なのである。幸いにオーステナイト系不銹鋼が合格してくれるからこれが主要材料として使えるということになる。このくらい嚴重な条件を考えた上で水の処理技術が開発されているのであるが、その結論は一切の不純物を極力排除した純粋の水が最もよく、薬品添加による腐蝕防止は一切無駄だということである。このような極度の純水をつくる技術が開発されれば、それは当然ふつうの発電用ボイラーや船舶推進用ボイラーにも応用される可能性があり、もしもこれが応用されれば、ボイラーやタービンの付側からよごれたりくさつたりすることは一切なくなり、掃除や修理の手数が大いに省けることになる。もちろんこのためには補給水の量を従来よりも桁外れにすくなくすることが必要であるが、歴史的にみても蒸気原動機所進歩の方向はまさにこの純水使用の線に沿っているから、将来はこの方面に応用されることは当然予想されるのである。

このように、内外からみれば意外と見えるかもしれないような技術も

原子力開発のためには必要である。すなわち原子力発電技術は総合技術であつて、どの部門が劣勢でも全体としての性能に大きく影響する。従つて、逆に、原子力に対する応用を目的として開発された技術の多くは、原子力以外の用途にも応用が可能であり、これにより技術水準が上げられる。すべてこのようなことは先進的技術に共通であつて、原子力も例外ではない。

いふかえると、原子力発電の開発のためには、たんに一部の専門家が世間の住みでコツコツ研究していたのでは全然不可能であつて、あらゆる技術が動員される必要がある。そのためには動員が可能になるような体制と豊富な資金とが必要であり、これは技術だけの内部では片ずかぬ問題である。また総合的だという性質からして、もしも原子力の研究に学術会議の三原則（公開、民主、自主）が守られず、妙なヒモがつくことになれば、そのヒモは技術の全分野に影響を及ぼさずにはおかないことも明らかである。

3.5 発電用原子炉はどのくらい危いものか。

一般に工場から災害を絶滅することは極めて困難であるが、原子力発電所はふつうの工場と同じくらい危険なのか、それよりも並外れて危険なのかを考えてみよう。

アメリカでもイギリスでも、大容量の原子炉は必ず広大な無人地域のまん中に設けられている。この事實は原子炉はよほど特別に危険なもので、到底ふつうの機械と同一視するわけにはゆかないことを立証している。何が特別に危険なのかといへば、勿論放射能である。

原子炉にもいろいろあるが、実験用原子炉ならば空冷または水冷、発電用原子炉ならば水冷又は液体金属冷却である。先ず空冷の場合を考える。空気中には体積で約1%のアルゴン（記号A、原子番号18、質量番号40）を含み、この含有量はCO₂の0.04%とは比較にならぬ多量である。

これが原子炉中で中性子とガンマ線の放射をうけると放射性のアイソトープA⁴¹になる（その変り易さは断面積で0.6 barn）。A⁴¹は強力なガンマ線（1.3 Mev）を放射し、しかも半減期が1.8時間ですい分長い。従つて原子炉を通過した空気を一時どこかにためておいて放射能の衰減を待つことは不可能であつて、高い煙突から高空にまきちらす以外に方法がない。

また、空気中には必ず微細なチリがある。これを徹底的に除去した上で送入しないと、放射能をおびたチリが空中に放出されることになるが、いくら努力してもいくらかのチリが空気につけてとんでゆくことはまぬがれない。原子炉の構成材料なるコンクリートや金属の酸化物なども空気につけてゆくであろう。このためにも高い煙突が必要である。

つぎに水であるが、水中の不純物除去の必要は前述した。純粋の水でも水を構成する分子たる酸素の中にはO¹⁸が0.2%含まれており、これが中性子を吸収するとO¹⁹（294秒、1.6 Mev-γ）になる反応があり、また通常のO¹⁶が中性子と陽子を吸収してN¹⁶（735秒、6.2 Mev-γ）になる反応があるが、この程度のことならば数時間分をタンクにためた上ですればよいからあまり問題にはならない。やはり不純物が一番問題になる。

水は放射能をうけると一部分が分解して酸素と水素の爆発性混合気を発生する。この対策も重要である。核燃料や冷却用液体金属も放射能で変質する。これらに対していろいろ処理をあげ、最後の廃物はどこかですてなければならぬ。

さらに、あらゆる機械は必ず手入れを要する。その際に切粉や廃品が出るが、これがまた放射能を含する。

従つて、結局、放射性廃物の安全なすて場所がなければ原子炉はつくれない。

以上は原子炉に事故がない場合の話であるが、もし原子炉が故障したら

どうなるであろうか。原子炉は多分大した爆発はしないでたんとけるだけだろうと推定している向きが多いが、著しい高温と水とがあれば思いがけない所でも爆発事故が発生することは労働省の安全担当係官なら誰でも御承知の通りであつて、たとえ核分裂による爆発が発生しないでも、二次的原因による爆発がないとは断定できない。

原子炉のように慎重に設計され厳重に監視されているものに事故など起るものかと勇敢に断言する人もあるかもしれないが、事實はその反対のことを証言する。1952年12月12日にカナダのNRX原子炉(重水減速天然水冷却)の停止用調節棒に機械的故障が生じ、発生熱量が急増した。その結果冷却水が沸騰し、燃料ウラニウムの一部はそのアルミニウム容器と共にとけてしまった。この原子炉では重水はカランドリヤ中にはいつており、その両端面に多数のアルミニウム管をエキスパンドで取付け、その管内に燃料管が同心的にはいつているのであるが、カランドリヤについている管も一部破裂してしまつた。それで水があふれ出し、地下室と計器室は水びたしになつたが、冷却水をとめるとウラニウムが発火し誘爆の心配があるのでとめられない。それで地下室の水を屋外タンクにくみ出したが5日間で一ぱいになつてしまつた。それで零下30°Cの嚴寒をおかして大急ぎで配管工事をし、1マイル以上はなれた所に導き、大地に放出した。このような対策がとれるのも放出して差支えないような場所があればこそである。その後8ヶ月かかつて原子炉を分解したが、一切を遠隔操縦で行なう必要があるので大変な苦勞をしている。

カナダのNRX原子炉といえは出力10,000KWで、研究用原子炉としてはずいぶん大きな方である。この設計が粗雑であつたとか、管理が不行届であつたとかいうことは考えられない所である。この冷厳な事實は、原子炉もやはり故障するものであつて、一般機械の例外ではないことを雄弁に

物語っている。

日本では機械的故障の他に地震や台風のことも充分考へておかねばならない。従つて原子力発電所の近傍には充分な空地がなければならぬという要求は、外国よりもさらに切実となる。

アメリカの原子力工業団体主催の日本原子力調査団招待カクテルパーティーでは、主催者側から“原子力発電のコストは高く、電力コストの安いアメリカにはおかない。海外の電力料金の高い国でしかも工業化の進んだ国に対して原子力発電を実施するのがよい。もちろん、日本はその最適地である”と語られたという。(30年3月9日付、毎日新聞朝刊) この見解はすでに米国AECが両院合同委員会に提出した報告書“Economic Implication of Nuclear Power for Foreign Countries”(1954-1-6)(経済審議庁計画第二課による全訳が電力経済研究所から複写印刷で出ている)に発表されているものと全く同一である。なるほど一理あるけれども、日本の現在の発電コストは1ドル360円で換算する限りアメリカとむやみな差があるわけではない。アメリカ側からこのような見解が出るのは広い無人地域を安く入手できるとしては、適当な設置場所をみつけうる可能性について検討をはじめめる必要があるように思う。しかしこのような調査結果はまだ公表されていない。

4 原子力工業化のために開発すべき新技術

与えられた紙数もすまにつきたから、原子力工業化のために開発すべき新技術についてはごく簡単にしかのべられぬが、他日機会があれば補うこととしたい。

既述のように原子力工業は総合工業であるからどんな工業部門でも原子力に関連する部門は無い中でも特に密接な関係のあるものだけをつぎにたんに羅列しておく。

いずれも具体的な研究成果がかなり発表されているのであつて、詳述すればかなりの分量にあらざるを得ない。なお、モデレータ、原子燃料、反射材料、遮へい材料等は別に講義されるからこゝにはのべない。

4.1 材料関係

- (1) 空気(浄化法、放射物質分散率を予定した煙突の設計法、その他)
- (2) 水(浄化法、漏洩防止法、腐蝕防止法、放射能汚染物質除去法、その他)
- (3) 鋼材(特別高温用不銹材、濃密放射線にたえる不銹鋼材、その他)
- (4) 非鉄金属(原子炉に適するアルミニウム製法、ジルコニウム製法、全圧延引抜法、液体金属防蝕法、その他)
- (5) セラミックス(グラファイト、 BeO 、 Be_2C 、 MgO 、 SiC 、 ZrO_2 、 ZrC 、 Al_2O_3 、 CaO 、 B_4C 、 BN 等々の製法、およびこれと金属を混ぜた *Cermet* の製法)

4.2 構造力学関係

弾性学や塑性学は全面的に必要であるが、特に熱応力を加味した諸問題と高温下の時間疲労の研究が大切である。

4.3 流体輸送関係

電磁ポンプ、密封ポンプ、計量器、および流体の流動に関する技術全般。

4.4 伝熱関係

発火性液体金属を扱う特殊熱交換器、液体金属に対する伝熱上の諸問題全般、負荷変動時における過渡現象、その他)

4.5 制御計測関係

中性子密度は制御の最重要であるから、これを簡単正確に計る方法が必要である。その他原子炉操作用に必要なもの一切、および従業員の衛生管理、工場附近の地域の安全管理に必要なもの一切。

4.6 工作法関係

新規な材料に対する加工法だけでなく、たとえば厳密に水平を要求されるコンクリート床をつくる場合などがあり、遠隔操縦が重要なこともいうこともない。

5 結 語

以上の他に工業化の方法論も述べたが今回は割愛せざるを得なかつた。原子力発電の実現には技術だけでは解決できない問題が密接にからみあつてゐるが、それらはまた逆に技術上の問題によつて制約されている。あらゆる目的を正しく判断しうるためには技術上の問題について正しい認識をもつてゐることが必要である。現段階では精密な知識は必ずしも必要でなく、それは今後つくりあげてゆけばよい。しかし、正確な知識は、問題の生発点において特に必要である。

結論として、日本人の手で自主的に原子力発電をはじめめるだけの技術を開発することは、技術上の問題だけに限定するならば、可能といえる。この可能性を現実性にするのは技術だけの力ではない。