

# 旧ソ連邦における船用原子力機関開発の最初期とその問題点

市川 浩

## 目次

- I. はじめに
- II. 船用原子炉開発の始動と最初の構想
- III. 旧ソ連邦初の軽水炉を利用した原子力潜水艦＝プロジェクト 627  
用原子動力装置の開発
  - 1. プロジェクトの始動と体制
  - 2. 設計上の構造と技術開発の諸課題
  - 3. 原子炉の試験と原子力潜水艦プロジェクト 627 の完成
  - 4. 最初の原子力潜水艦用軽水炉の技術的未完成性
- IV. 旧ソ連邦初の液体金属冷却炉を利用した原子力潜水艦＝プロジェクト 645 用原子動力装置の開発
  - 1. プロジェクトの始動と体制
  - 2. 技術開発の諸課題と地上試験
  - 3. 原子力潜水艦プロジェクト 645 型の建造とその問題点
- V. むすび

## I. はじめに

旧ソ連邦における核開発過程については、いまだに多くの資料的制約が存在する。関連資料の大多数はロシア連邦原子力省（Министерство Российской Федерации по атомной энергии: Минатом）の文書館に所蔵されており、特別の許可がない限り、そこに直接アクセスすることは不可能である。また、多くの経済官庁資料を保存する国立経済文書館（Российский государственный архив экономики）でも、核開発に携わっ

た省庁の資料は公開対象から省かれている（たとえば、原子力潜水艦建造を主担した造船工業省関係秘密資料については、肝心の戦後に属するものの閲覧を禁じられている）。しかし、現在まで、開発当事者の回想<sup>1)</sup>や開発当事者にたいする顕彰目的の回顧談<sup>2)</sup>、および、原子力省自身、あるいは関係者によるなかば「公式の」通史<sup>3)</sup>が数多く刊行され、われわれはそれを通じて核開発の実態について、従来とは比較にならないほど大量の情報をえることができる。

このような資料的条件のもとで、本稿が課題とするのは、従来よくわからなかった旧ソ連邦における最初期の原子力潜水艦開発にともなう原子力機関開発の実態の解明とその問題点の整理である。われわれはこれを通じて、数多くの事故<sup>4)</sup>につながる歴史的要因を探ることができよう。

船用原子炉の中心は、言うまでもなく、軽水炉（軽水減速・軽水冷却炉）である。旧ソ連邦の軽水炉開発の展開については、木下道雄、大田憲司両氏の先行研究がある<sup>5)</sup>。これは、資料が限られていたなかで、よくまとめられたものではあるが、軽水炉一般の性格から見て、もっとも重要な原子力潜水艦開発との関連を探ることは執筆当時の資料的制約からできてはいない。筆者自身、以前、旧ソ連邦における軽水炉開発の弱さを指摘したことがあり<sup>6)</sup>、本稿の課題はこの問題の解明にも重要な示唆を与えるものとなるろう。

以下では、まず旧ソ連邦における船用原子炉開発が始動する過程と当初の船用原子炉の構想について述べる。また、行論中に示されるように、旧ソ連邦における船用原子炉開発は軽水炉の開発とともに、液体金属冷却炉の開発も追求されたのであり、この両者について、研究開発過程とその帰結を検討することで課題に迫りたいと考えている。

## II. 船用原子炉開発の始動と最初の構想

旧ソ連邦において、はじめて核反応によって生じる熱を動力装置に利用することについて語られたのは、1947年3月24日に開催されたソ連邦

閣僚会議付属第1総管理部（Первое главное управление : П Г У<sup>ベ・ゲ・ウ</sup>）科学技術協議会（Научно-технический совет）の会議<sup>7)</sup>においてであった。同協議会学術書記のボズドニャーコフ（B.C.Поздняков）はここで、「核反応による動力装置」<sup>8)</sup>と題する大きな報告を読み上げた。同報告の第4の部分では輸送機関への利用の可能性が検討されていた。彼によれば、①20kgの核燃料があれば、4万馬力の原動機を60昼夜にわたって動かすことができる、これが船用原動機であれば航行距離9万kmにあたる、②船用機関の場合、周囲の水を遮蔽物とすることで放射線防護は充分可能である、③防護壁等の重量を除くと、全体で5～50トン、④濃縮ウランを利用し、⑤核反応の熱によって蒸気、または高温高压のガスを発生させ、それにより蒸気タービン、またはガス・タービンを動かす、とのことであった。また、報告の第7部では、必要なタービン出力を3,000馬力としている。まだ、核開発最初の目標であった原子爆弾が完成していないこの段階では、この報告はただちに新しい行動を生まなかった。だが、最初の原子爆弾＝<sup>エル・デー・エス</sup> P D C -1 実験の成功後、原子力による動力装置の開発はただちに新たな実践課題となる。

1949年10月3日、上記の協議会で、クルチャートフ（И.В.Курчатов）とフェインベルク（С.М.Фейнберг）が実験炉“マリユートカ（Малютка : 「赤ん坊」の意）”開発計画について報告している。同実験炉は燃料に濃縮ウランと減速材兼冷却材に純水を用いるものとされていた。その開発目的について、フェインベルクの「工業目的の原子力」<sup>9)</sup>と題する報告では、「われわれにとって最優先の課題は、原子力機関を積んだ潜水艦隊の創設である」として明確に原子力潜水艦の原動機への応用を想定していた。具体的提案として、科学アカデミー・測定機器研究所（Лаборатория измерительных приборов Академии наук : Л И П А Н<sup>リ・イ・パ・ン</sup> : 最初期の核開発研究センターであった“第2研究所” — Лаборатория No.2 — の後身）と物理問題研究所（Институт физических проблем : И Ф П<sup>イ・エフ・ペ</sup>）が協同で、1951年前半に“マリユートカ”の概略設計を終え、1951年後半から

1952 年中に設計・建造・進水式を行う計画を示した。同時に彼は、具体的に使用する冷却材に軽水のほか、ガスや液体金属も考えられることも補足していた。

しかし、“マリユートカ”計画はただちに実践に移されたわけではない。アレクサンドロフ (А.П.Александров) の回想<sup>10)</sup>によれば、“第2研究所”における原子炉開発をめざす一連のセミナーのなかで、彼とグルヴィチ (Гурвич)<sup>11)</sup> はかなり早い時期から潜水艦用原子炉を構想していた。アレクサンドロフは第2次世界大戦中、海軍に協力して船舶の効果的な除磁気法開発に従事しており、この経験を通じて原子力潜水艦の構想を早い時期にもつようになった。彼らはグルヴィチ(?)の設計になる実験炉をモスクワ市内ヴァラヴィヨヴィ・ゴールイ近くのモスクワ川河岸に建設する計画を作成したが、原子爆弾開発の学術指導者、クルチャートフ (И.В.Курчатов) は危険すぎるとしてこれに承認を与えなかった。アレクサンドロフはこれを“マリユートカ”計画とは呼んでいない。仮に別の計画であったとしても重要なのは、この段階における政治的意思決定機関の消極的な姿勢であろう。政府の「特別委員会 (軍事目的の核開発に関する政策決定を行う)」は「まったく時宜に適していない」として潜水艦用原子炉開発計画の中止を申し渡している。アレクサンドロフによれば<sup>12)</sup>、政府はプルトニウム生産を優先し、動力装置の開発を当初は抑制する傾向にあった。

その後、<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У の政府「特別委員会」への報告メモ<sup>13)</sup> (署名者はクルチャートフとポズトニャーコフ) では、「いま現在ある科学・技術データから核反応プロセスの熱の利用という分野の仕事を次の方向ですすめることが合理的である」として、発電への応用等様々な課題とともに、「潜水艦、および海上船舶、航空機、およびロケット用の原子力による特殊動力装置の開発」があげられていた。しかし、動力装置用の原子炉のありうべきヴァリアントとしてここで挙げられていたのは、① 10%濃縮ウランを利用する 10,000kW 出力の黒鉛減速・水冷却炉 (クルチャートフら <sup>リ</sup> <sup>ー</sup> <sup>バ</sup> <sup>ン</sup> Л И П А Н

が担当し、のち実験炉<sup>エム・エル</sup> M P として実現する)、② 3%濃縮ウランを用い、圧縮ヘリウム・ガスで冷却する黒鉛減速炉 (イ<sup>イ</sup> Φ Π でアレクサンドロフらが担当し、のち実験炉<sup>シャー・ゲー</sup> III Γ として実現する)、および③小出力の補助装置用にベリリウム減速・ガス冷却炉 (1947年に設立された“B”研究所でレイプンスキー—A.И.Лейпунский—らが担当したが、実現していない様子。軽いので航空機用を想定していた)であった。

ここには、上記の会議からそれほど経っていないにもかかわらず、軽水炉“マリュートカ”に関する言及はない。しかし、研究は継続され、やがてその成果として、中性子減速の70%を黒鉛で、残り30%を軽水で実現する中間的な実験炉<sup>エル・エフ・デー</sup> = P Φ T が生まれている<sup>14)</sup>。

1950年1月7日付けでクルチャートフ、ザヴェニャーギン (A.П. Завенягин : Π Γ Υ 次官)、ペルヴーヒン (M.Г.Первухин : 副首相)、ドレジャーリ (H.A. Доллежалъ : 炉工学専門家) とエメリヤーノフ (B.C. Емельянов : Π Γ Υ 次官) は連名で政府「特別委員会」にメモ<sup>15)</sup>を送付した。そのなかで、彼らは「①. 天然ウラン利用のウラン—黒鉛原子炉で、冷却水の温度の上昇により、プルトニウム生産とともにその熱を電力生産に利用できるものの設計・開発、②. 濃縮ウランを利用する、海洋船舶、なかんづく潜水艦用の原子力熱発生装置の設計・開発」のふたつの課題を設定した。

このメモにもとづいて、1950年2月11日、Π Γ Υ 長官ヴァンニコフ (Б.Л. Ванников) は会議を召集した。席上、上記第2の課題については、ドレジャーリが報告した。「同志クルチャートフの“第2研究所”による物理的測定と解釈を基礎として、Π Γ Υ の課題に関して、化学機械製作科学研究所 (НИИХИММАШ) では濃縮ウランによる蒸気タービン出力25,000kWの船用機関に応用するための高出力炉の概略設計をおこなった」として、彼は、黒鉛ブロックの中に水冷却式の冷却管が通り、その管のさらに中に濃縮ウランが包まれている構造をもつ炉型を提案した。その際、彼は熱出力を150,000kW、動力出力を25,000kW、濃縮ウランの量

を700～800kg、炉心の黒鉛重量3トン、炉心直径1.5m、炉心高1.5m、蒸気生産量750m<sup>3</sup>/h、冷却水圧100気圧と想定していた。討議ののち、この指標のいくつか、具体的には熱出力を30,000kWに、タービン出力を5,000kWに、ウランの濃縮度を3～5%に、その量を300kgに、それぞれやや下方修正したのち、“<sup>アー・エム</sup>A M装置”と命名し、<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г Уとしてその開発をすすめることとした<sup>16)</sup>。

また、1950年3月28日付、国民経済への原子力利用に関する活動計画にたいする、ザヴェニャーギン、ボズドニャーコフ連名の提案<sup>17)</sup>では、「ウラン235、プルトニウム1kgで2,000トンの石油に匹敵する」として、原子力の利点を強調しつつ、蒸気タービン出力5,000～10,000kWの「もっとも単純な」加圧水冷却炉だと、3%濃縮ウランが300～600kg必要で、そのような炉の総重量は40～60トンになるとの具体的な計算をしめし、このような炉（とりあえず5,000kWタービンを装備する予定）の研究目的での建設がすでに“<sup>ヴェー</sup>B”研究所で予定されていることに言及している。<sup>リー・パン</sup>Л И П А Н、<sup>イー・エフ・ペー</sup>И Ф П、<sup>ニー・ヒム・マシ</sup>Н И И Х И М М А Шなどとらぶ船用原子炉研究拠点＝“<sup>ヴェー</sup>B”研究所もこうして名乗りを上げたのである。

1950年5月16日付ソ連邦閣僚会議布告No.2030-788「平和目的原子力研究に関する科学研究・設計・実験活動について」<sup>18)</sup>でこれらの計画は最終的にオーソライズされ、さらに7月29日付閣僚会議布告No.333-1399<sup>19)</sup>で具体的な国家的支援とそのため組織的措置が決められた。<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г Уに定員20人の第5課が新たにボズドニャーコフを課長として設置された。新しいタイプの原子力による動力装置の開発に関する活動の指導者にドレジャーリ、その物理問題担当次席にプロヒンツェフ(Д.И. Блохинцев)、エンジニアリング担当次席にシオルコヴィチ(Б.М. Шолкович)が任命された。<sup>ニー・ヒム・マシ</sup>Н И И Х И М М А Шを所管する機械・計測制御機器製作省に命じて、同研究所の第9課、第10課を基礎に、新たにドレジャーリを責任者とする“第5特別設計ビューロー(<sup>エス・カー・ペー</sup>СКБ-5)”を設置させた。

ここで重要なのは、潜水艦用原子炉にも当初ウラン-黒鉛炉が想定されていたことである。たえず計画の中心にいたドレジャーリは、アメリカにおける原子力潜水艦“ノーチラス (Nautilus)”号建造計画がたいへん厳しい秘密保持態勢のなかですすめられていて、その構造的特性や動力装置のタイプなどについてほとんど情報がなかった、と述べている。また、彼自身、「“液状の”炉に由来するかもしれない諸現象を排除しようとするれば」、固形の減速材を使わざるをえないと頭から信じていたと告白している<sup>20)</sup>。

1951年4月27日付のザヴェニャーギン、クルチャートフ連名の閣僚会議宛のΠ Γ Υの報告では<sup>21)</sup>、濃縮ウランを利用した動力装置開発にむけた科学研究・設計=実験活動の一環として、ヘリウム・ガス冷却炉、液体金属冷却炉、あるいは試験用ウラン-ベリリウム炉の設計・開発の推進もあげられていたし、1949年10月3日のΠ Γ Υ科学技術協議会に提出された資料<sup>22)</sup>では軽水炉も実験炉として検討されてはいたが、船用原子炉開発が国家計画として始動する段階で主たる想定が黒鉛炉であったことはたいへん重要である。しかし、まもなく、クルチャートフとアレクサンドロフはウラン-黒鉛炉を、その重さ・大きさゆえに、潜水艦の推進機関に利用することの不合理性を結論することになる。この段階で開発途上であった“A M装置”<sup>アー・エム</sup>は目的が発電設備用に切り替えられたうえで、1954年世界発の原子力発電所=オブニンスク発電所に装備されることになる<sup>23)</sup>。

もうひとつ重要なのは、この段階で、Π Γ Υが“B”<sup>ベ-ゲ-ウ- ヴェ-</sup>研究所の液体金属冷却に関する研究結果を高く評価したことである。その報告<sup>24)</sup>のなかで、Π Γ Υは“B”<sup>ベ-ゲ-ウ- ヴェ-</sup>研究所での冷却材としての液体金属利用の実験結果ではその利点が判明している。これに関して、炉内の圧力が低くてすみ、より高温がえられること、増殖炉(高速中性子による)へのこの冷却材の利用の可能性が挙げられる」として、ヘリウム冷却炉ではなく、液体金属冷却炉を想定して、もうひとつの潜水艦用原子炉=“B T装置”<sup>ヴェ-・テ-</sup>を設計・開発することを合理的であるとしたのである。



### Ⅲ. 旧ソ連邦初の軽水炉を利用した原子力潜水艦＝プロジェクト No.627 用原子動力装置の開発

#### 1. プロジェクトの始動と体制

“<sup>アー・エム</sup>A M 装置”の挫折後、アレクサンドロフの指導のもとで<sup>リーバン</sup>Л И П А Н においてもうひとつのヴァリエントが作成された。これが、一旦は事実上放棄されていた軽水炉の計画で、彼らがこのような炉が物理学的に見てフィージブルであることを確信し、案としてまとめるのは1951年末のことである。密封した鋼製容器のなかに炉心を置く構造と冷却材に加圧した純水を利用するこの炉の計画上の熱出力は76MWとされた。<sup>リーバン</sup>Л И П А Н から提出された資料に基づいて、1952年6月12日付でヴァンニコフ、ザヴェニャーギン、マルィシェフ（В.А.Мальшев）、パヴロフ（Н.И.Павлов）、およびポズドニャーコフが連名で政府に閣僚会議布告草案を送り、船用軽水炉開発とそれを装備した原子力潜水艦建造計画の承認をもとめた。これらは政府によって採用され、新たに1952年9月12日付で布告「祖国の原子力潜水艦建造に関する活動の展開について」に首相スターリンが署名した。このプロジェクトにはNo.627の番号が附された<sup>25)</sup>。

この布告では、①<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У を原子力潜水艦の設計と研究・試験設計活動の組織者、国の初の原子力潜水艦建造に関するすべての活動のコーディネーターに任命すること、②<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У 科学技術協議会に原子力潜水艦建造に関する科学・技術問題検討のために特別のセクション（“第8セクション”）を設置すること、③<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У に<sup>ニヒムマシ</sup>НИИХИММАШ の設計関連部門のいくつかを基礎に動力炉開発に関する特別の設計事務所（“第8科学研究所：<sup>ニヒ</sup>НИИ-8”）を設置すること、④計画全体の学術指導者にアレクサンドロフ、蒸気発生装置の主任設計技師にドレジャーリ、潜水艦の主任設計技師にペレグウドフ（В.П.Перегудов：造船工業省第143設計ビューロー所属）を任命することを定めた<sup>26)</sup>。アレクサンドロフの任命は、ウラン黒鉛炉開発の経験を買われてのことであるが、同時に、戦時中彼の海軍へ



協力した経歴が大きく作用していた。ドレジャーリはこの段階で、ソ連邦初の軍用実用炉<sup>アー</sup>A炉、ウラン・アイソトープを利用した実験黒鉛炉<sup>アー・イー</sup>A И、および先述のAM炉と、すでに3基の原子炉設計の経験を有していた。ペレグウドフ率いる第143設計ビューローは潜水艦設計に習熟していた<sup>27)</sup>。しかし、この人事的措置には奇妙な点がある。以前から軽水炉研究に従事していたフェインベルクやグウレヴィチは少なくとも責任ある立場に登用されており、自分が任命されたことを病床で聞いたアレクサンドロフ<sup>28)</sup>や休暇から帰還してはじめて知ったドレジャーリ<sup>29)</sup>が選ばれたことである。何らかの政治的背景があるのかもしれないが、現在までのところこの過程の合理的説明は筆者にも不可能である。

1952年11月25日付でさらに補足的な布告が出され、次のような諸組織もプロジェクトに動員されることになった<sup>30)</sup>。すなわち、①「第9科学研究所(Н И И -9: 所長はボチヴァル—А.А.Бочвар—)」: 燃料要素の構成とその製造を担当、②レニングラード・キーロフ工場の「特別設計ビューロー(С К Б / Л К З: 主任設計技師はカザーク—М.А.Казак—): 蒸気タービン設備の開発を担当、③同工場の「特殊設計ビューロー(О К Б / Л К З: 主任設計技師はシーニエフ—Н.М.Синев—)」: 1次冷却水回路の循環ポンプ等の開発を担当、④セルゴ・オルジョニキーゼ名称バルト造船工場の「ボイラー製作特別設計ビューロー(С К Б К: 所長兼主任設計技師はガサーノフ—Г.А.Гасанов—)」: 蒸気発生装置の開発を担当、⑤「第48科学研究所(Н И И -48、別名『冶金・溶接中央研究所』: 所長はカプイリン—Г.М.Капырин—): 潜水艦船体用鋼材の研究を担当、⑥国立応用化学研究所(Г И П Х: 所長はシュパーカー—В.С.Шпак—): 生命維持装置関連の研究を担当、⑦“エレクトロシラ(Электросила=「電力」の意味)”工場(工場長はモザリエフスキー—А.В.Мозалевский—): 電力設備の製作を担当、⑧「第1機械科学研究所(М Н И И -1: 主任設計技師はエルレールー—Э.И.Эллер—)」: レーダー装置の開発を担当、⑨「第3科学研究所(Н И И -3: 所長はアラドゥシユ

キンー Е.И. Аладушкинー)：水中音響装置の開発を担当、⑩造船工業省第 402 工場（工場長はイェゴーロフー Е.П. Егоровーで、モロトフスク市、現在のセヴェロドヴィンスク市に立地）：潜水艦の建造を担当、⑪「機械製作特殊設計ビューロー（<sup>オー・カー・ペー・エム</sup>О К Б М：主任設計技師はアフリカントフー И.И. Африкантовー）：蒸気発生装置群（Паропроизводственная установка：<sup>ペー・ペー・ウー</sup>П П У）と 27/<sup>ヴェー・エム</sup>В М 試験台の作業詳細設計図づくりを担当、⑫ゴーリキー機械製作工場（工場長はマクシーメンコー В.Д.Максименкоー）：<sup>ペー・ペー・ウー</sup>П П У の製作を担当、…以上である。プロジェクト 627 には、最終的に 136 の組織が動員された。そのうち、設計ビューローが 20 カ所、研究所が 35 カ所、工場が約 80 カ所であった。

基本的な開発路線の策定は<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У（1953 年 7 月 1 日以降は中型機械製作省に編成される）科学技術協議会“第 8 セクション”で検討された。1952 年 9 月、ここで<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У 開発上の「技術課題（<sup>デー・ゼー</sup>T 3）」と開発される潜水艦にたいする基本的な技術的要求が確認された。これをうけて、1952 年 11 月までに第 143 特別設計ビューローと協同で<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У 設計上の「基本命題」を検討し、これは 11 月 27 日の“第 8 セクション”の会議で承認された<sup>31)</sup>。

## 2. 設計上の構造と技術開発の諸課題

これによると、627 号艦は、それぞれ別の格納容器をもつふたつの炉（それぞれ 17,500 馬力、熱出力 70MW）からなる<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У とふたつの主力タービン（それぞれ 19,500 馬力）から構成される動力装置群を有する構造になっていた。その際、どちらの主力タービンにもふたつの炉から蒸気を送られるようになっていた。蒸気発生能力は毎時 90t と見積もられた。直立式発電機 2 基をもち、電気出力は 2,000kW とされた。設備全体の最大作業時間は（原子炉がフル稼働している状態で）1,500 時間以上でなければならぬとされた<sup>32)</sup>。

<sup>ペー・ゲー・ウー</sup>П Г У は 2 基の原子炉、それぞれの制御装置類、蒸気発生器、1 次冷

却水回路の循環ポンプ、加圧器、それらをつなぐパイプ群、一連の計測制御機器類などからなり、6.8m × 12m の区画に配置されることになっていた。この区画には生物学的防護手段と放射能を帯びた冷却水を扱う手段も備え付けられていた<sup>33)</sup>。

技術開発上の焦点は、ありうる振動・衝撃にたいしても、1次冷却水回路の気密性が守られ、すべてのメカニズムが良好に作動する条件づくりであった。設計によると、 $\Pi \Gamma Y$  を設置する区画の総容積は 435m<sup>3</sup> となるはずであった。これはオブニンスク原発の炉《 $\overset{\text{ア-エム}}{\text{A M}}$ 炉》(出力 30MW) が 1,568 m<sup>3</sup> を要したのに比べると 1 m<sup>3</sup> あたりのエネルギー効率は 17 倍となるものであった<sup>34)</sup>。

同時に解決を迫られた課題として、①高熱に耐える燃料要素、②鍛造高硬度炭素鋼製で、薄い耐食性被膜をもつ炉の容器、③ユニフロー式蒸気発生器の構造、④無塩素素材によるポンプとアーマチュア、⑤生物学的防護壁を組み込んだ蒸気発生装置群の設計、⑥1次冷却水回路の水管の熱膨張からの自動復元メカニズム、⑦防錆鋼、⑧動力区画を作業空間と人が立ち入らない空間に厳密に区分すること、などがあげられる<sup>35)</sup>。

燃料要素については、ボチヴァルの指導下、特別に開設された研究室でサモイロフ (A. Г. Самойлов) らがこれを担当し、直径 5 ~ 6mm のシリンダー状の容器に 2 酸化ウランを装填する構造が選ばれた。2 酸化ウランは高熱に耐え、中性子照射にも強く、水に対して耐食性をもつ。燃料の装填方法については、ふたつのヴァリエントが考えられていた。すなわち、①燃料を粉末にして防錆管に充填し、熔融鉛-ビスマス合金との共晶現象を利用して管内に浸透させる方法と、②2 酸化ウランをタブレットにして管に充填する方法、であった。実験は、 $\overset{\text{リ-パン}}{\text{Л И П А Н}}$  の実験炉《 $\overset{\text{エム-エル}}{\text{M P}}$  炉》を使って、9本の燃料要素を縦につないだ 200mm の燃料管に行われた。最終的には  $\overset{\text{ニ-イ}}{\text{Н И И}}$ -9 で、ウラン-珪素-アルミニウム合金を中心軸を包むような環状の形態にした燃料要素が利用されることとなった<sup>36)</sup>。

生物学的防護手段については、鉛、鉄、水、ホウ素カーバイド、カーボ

ライト（黒鉛とホウ素カーバイドからつくられたもの）を利用した遮蔽物による方法が開発された<sup>37)</sup>。

1次冷却水回路を動かす気密・無塩素素材製ポンプの開発は、最もむずかしい課題のひとつであった。なかでももっとも重要な課題は、放射線によく耐え、注油の不要なベアリング素材の選定であった。80種以上の実験素材から《プレス素材<sup>カー</sup>K-4》が選ばれた。これは、雲母を混合した黒鉛を基礎に、ベークライト・ラッカーとひまし油からなるもので、250度、200気圧の加圧水を扱っても極めて耐久性が高い素材であった。ポンプとそれを動かす250kW 3相交流同期式電動機をひとつのプロックにまとめた設計図はアレクサンドロフとドレジャーリの承認をうけ、その設計図に基づく試作品は1954年に完成した<sup>38)</sup>。

ガサーノフらが設計した蒸気発生器は数多く蛇行を重ねた蛇管でユニフロー式の蒸気発生原理を実現したコンパクトなものであった。ひとつの原子炉ごとに8つの蒸気発生室をマニホールドでひとつにまとめるかたちで、<sup>ペー・ペー・ウー</sup>Π Π Y区画の鉛で板張りした側板上に設置された。素材は防錆鋼であった。新しく、200気圧、350度の高温・高圧・高放射能の条件下でも正確性を失わない計測機器の開発が必要とされた<sup>39)</sup>。

<sup>ペー・ペー・ウー</sup>Π Π Yと地上試験台27/<sup>ヴェー・エム</sup>B Mの技術設計は1955年に完了し、地上試験台はオプニンスクにあった“<sup>ヴェー</sup>B”研究所に組み上げられることとされた（図-1）<sup>40)</sup>。

潜水艦の船体設計については、素材となる高硬度鋼の開発を<sup>ニ</sup>И И -48が、一連の流体力学計算は第45中央科学研究所（<sup>ツェー・エヌ・イー・イー</sup>Π Н И И -45）や中央空気流体力学研究所（<sup>ツァー・ギ</sup>Ц А Г И：フェディヤエフ—K.K. Федяевский—らのグループ）が担当した。気密性の維持とヴェンチレーターや復熱・凝縮システムの原寸大実験は、装備を解かれたディーゼル潜水艦《Д-2（称号は“人民戦士—Народоволец—”）》のうえで実施された。設計上の最大の問題は大型核弾頭積載魚雷<sup>デー</sup>T-15の発射装置をどう船体内に組み入れるか、であった。そのような装置は数十トンになることが予想されたからで

ある。発射装置の推力に頼らず、自力で魚雷が始動するシンプルな発射管を想定すると、その口径は2mとなるが、構造は単純で重量もそれほどではないことがわかり、設計にはこれが取り入れられることとなった<sup>41)</sup>。

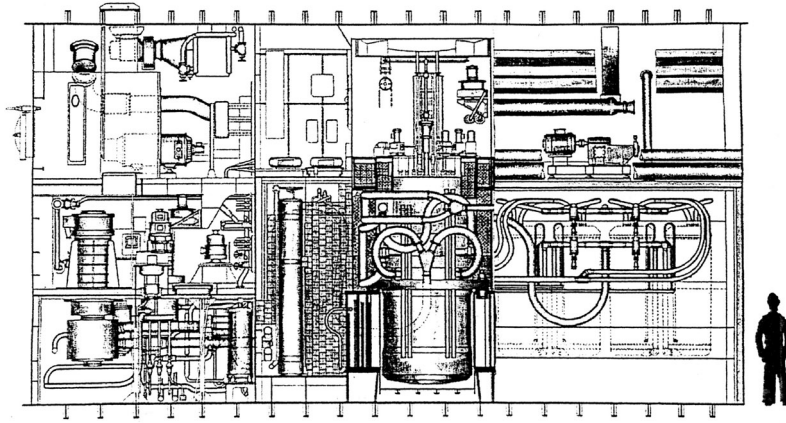


図 - 1 プロジェクト 627 用 П П У 区画の縦断面

出所) Г.А.Гладков и др., “Корабельные реакторные установки конструкции НИКИЭТ”, Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А.Доллежалея, «Сборник докладов Юбилейной международной научно-технической конференции “Опыт конструирования ядерных реакторов”» Москва, 27-28 мая 2002 г. стр.21.

こうして、船体の技術設計（製造段階の基本設計）は1954年末に完了し、上層での検討に附された。しかし、海軍の専門家委員会（オリョール—А.Е.Орёл—海軍少将が委員長）は627号艦に大型核弾頭魚雷T-15を装備することに疑問を呈示した。このクレームによって、627号艦の装備は変更され、当初の構想であった、T-15発射装置1門、533mm魚雷発射装置2門を装備するかわりに、船首部に533mm魚雷発射装置を8門装備することとした。その結果、プロジェクトNo.627の目的は海岸施設の大規模破壊から対戦艦・対輸送艦攻撃に切り替えられた<sup>42)</sup>。このときまでに、核弾頭の小型化研究がすすみ、533mm魚雷にも搭載できる展望が生まれてきたからでもある<sup>43)</sup>。

特別に開発された A K -25 鋼でつくられた円筒形船体は 9 つの防水区画に分かれていた。第 1 区画は船首・魚雷部、第 2 区画はバッテリーと居住区、第 3 区画は中央監視所、第 4 区画は補助装置群、第 5 区画に原子炉、第 6 区画にタービン、第 7 区画に電気設備、第 8 区画が居住区、第 9 区画が舵とその補助装置からなる船尾部、であった。このうち、乗組員が出入りする区画は第 1 ～ 3、第 8 ～ 9 区画で、隔壁は 15 気圧に耐えるように出来て来た。30 人の士官は個室、2 人部屋、4 人部屋に配置され、第 2 区画に士官集会室、第 4 区画に上級兵員用集会室が設けられていた。2 ヶ月の連続潜航が可能であるとされた。原子炉は艦の中央部に隣り合って前後に配置され、蒸気発生器とパイプ群は炉から見てシンメトリカルに配置されていた。基本的な設備は防振、消音カバーにより緩衝され、さらに船体はレーダー波防護カバーに包まれていた (図 - 2) <sup>44)</sup>。

同艦は、①水深 100m でも発射できる魚雷発射装置とその制御システム“レニングラード”、②アンテナをもつレーダー、③周囲を監視するテレヴィジョン設備 M T - 50 × 3 基、④水中音響コントロール、⑤操舵装置群、⑥凝縮器とヴェンチレーター、などを装備することとなっていた。排水量は 3,050 トン、潜航深度 300m、速度 24 ～ 25 ノット、潜航日数 50 ～ 60 昼夜、乗組員数 85 名で、魚雷発射装置 8 門にたいして 533mm 魚雷 20 発を搭載することになる。1955 年に完成したアメリカ初の原子力潜水艦 SSN-571 “ノーチラス”は長さ 98.7 m、幅 8.5 m、平均吃水 6.70 m、排水量 (通常) 3,160 トン (完全潜航時 4,750 トン)、予備浮力 16.0%、深度 (作戦時) 210m、速度 (浮上航行時) 20 ノット (潜航時 20 ～ 23 ノット)、主動力設備は 7,500 馬力 × 2 基、乗組員 101 人 (うち士官 12 名)、533mm 魚雷発射装置 6 門 (搭載魚雷数 24 基) であり、浮上航行時速度を除いて、627 艦の諸指標はこれにほぼ匹敵するものであった <sup>45)</sup>。ドレジャーリは 1959 年秋の訪米時に、 SHIPPING ポート 炉や原子力船“サヴァンナ”号の組み立て過程を見学し、自分たちの軽水炉がアメリカのそれと比べて、あまり後れをとっていないことを確認し、自信を深めている <sup>46)</sup>。



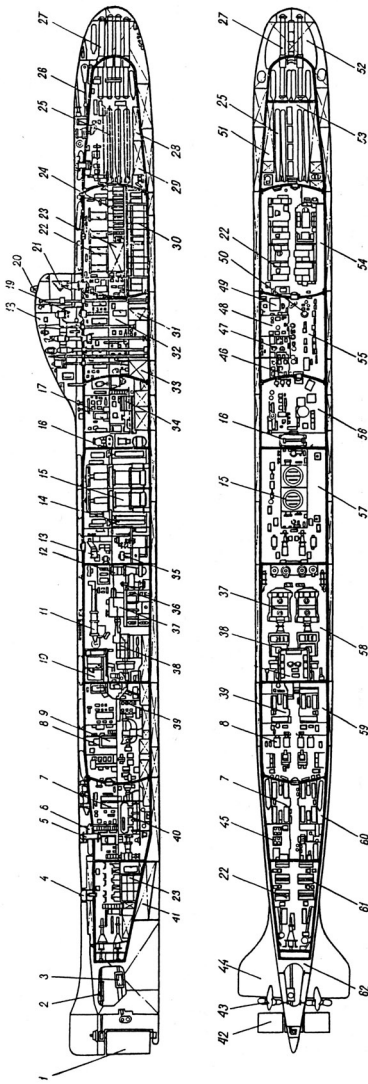


図 - 2. 原子力潜水艦プロジェクト 627 型 縦断面図と水平断面図

1. 垂直舵, 2. 垂直舵の伝動機構, 3. 水平舵の伝動機構, 4. 信号パイプ, 5. 入り口ハッチ, 6. 圧搾空気ポンプ, 7. キャビン, 8. 主電動機 Π Γ -116 制御機器の防護カバー, 9. 発電機制御機器の防護カバー, 10. 主電力設備の計器・制御盤, 11. 主蒸気パイプ, 12. 循環ポンプ, 13. 空気冷却機, 14. コンプレッサ, 15. 原子炉 В М -А, 16. 気水噴出装置冷却機 3-250, 17. 防護隔壁, 18. 司令塔のカバー, 19. 強化された司令塔部, 20. 水中レーダー «Луч» の発見用 Г А С アンテナ, 21. 水中レーダー・対潜測音機ステーション «Арктика» のアンテナ, 22. 居住空間, 23. 食糧室, 24. 上部蓄電器室, 25. 予備の魚雷, 26. 船首部水平舵の梁の伝動機構, 27. 魚雷発射装置, 28. 環状空腔におかれたタンク, 29. 船首部トリムにおかれたタンク, 30. 蓄電器室, 31. 平衡用タンク No.1, 32. ジャイロ・ポスト, 33. 急速潜水用タンク, 34. ディーゼル・エンジン М-820, 35. 1次冷却水回路の主循環ポンプ, 36. 主コンデンサ, 37. 主タービン, 38. 減圧装置, 39. 発電機 П М -21, 40. 気水噴出装置冷却機 3-320, 41. 船尾部トリムにおかれたタンク, 42. 船尾部分平舵, 43. スクリュー, 44. スタビライザー, 45. 調理室, 46. 水中音響機器室, 47. 無線通信室, 48. レーダー室, 49. 航海士室, 50. 中央監視所, 51. 魚雷交換室, 52. 船首部先端, 53 魚雷区画 (第1区画), 54. 蓄電器区画 (第2区画), 55. 中央監視区画 (第3区画), 56. ディーゼル・エンジン区画 (第4区画), 57. エネルギー設備区画 (第5区画), 58. タービン区画 (第6区画), 59. 電動機区画 (第7区画), 60. 居住区 (第8区画), 61. 船尾部 (第9区画), 62. 船尾部先端

出所) А.М.Антонов, "Атомные подводные лодки пр. 627 и 627А", «Судостроение» №.1985 г. (№692), стр.77.



### 3. 原子炉の試験と原子力潜水艦プロジェクト No.627 の完成

НИИХИММАШでは潜水艦区画の木製模型を原寸大でつくり、設備の据え付け、取り外し、再据え付けの可能性を調査していた。また、バルト造船工場では蒸気発生室の設備と据え付けの条件を点検するために、やはり木製模型を利用していた。しかし、もっとも重要なのは、原子炉を含む、きわめて複雑でデリケートな П П У<sup>ベ-ペ-ウ</sup>を地上試験に付すための試験台を準備することであった。この試験台は 27 試験台と命名され、オブニンスクの“B”<sup>ヴェ-</sup>研究所に設置されることとなった。27 試験台は独立したふたつの試験台の総称で、27/ B M<sup>ヴェ-エム</sup>試験台は軽水炉に関する実験施設で、27/ B T<sup>ヴェ-テ-</sup>試験台は後述する液体金属冷却炉用の施設であった。27/ B M<sup>ヴェ-エム</sup>はゴリキー機械製作工場が準備し、据え付けは第 402 造船工場の専門家が機械・計測制御機器製造省の特殊化学設備の専門家とともにこれを担当して、1956 年 3 月までに完了した。この試験台上で計画出力の 0.3% の出力ではじめて原子炉を稼働させたのが 1956 年 3 月 8 日で、4 月初旬、はじめて蒸気の生産に成功し、4 月 21 日、はじめてその蒸気でタービンを回転させることに成功した。6 月までに炉の出力は計画出力の 25% に達し、9 月には 68% に達した<sup>47)</sup>。

他方、船体の建造については、それに先立つ 1955 年 9 月 24 日に起工式を迎えていた<sup>48)</sup>が、原子炉実験の一定の成功を待って、1956 年 10 月、П П У<sup>ベ-ペ-ウ</sup>の据え付けがはじまり、翌 57 年 8 月 9 日、進水式が敢行された。9 月 13、14 両日、最小の出力ながら洋上ではじめて原子炉を稼働させた。1957 年 9～10 月、外部の蒸気発生源の力を借りて、全システムの調整が完了した。1958 年 5 月 19～6 月 5 日、計画出力の 60% の出力で繫留実験がおこなわれたが、60% 以上に出力を上げることは様々な理由から回避された。この繫留実験は中型機械製作省のニコラエフ（Н.А.Николев）を長とする官庁間委員会によって実施されたものであった。ひきつづき、1958 年 7 月 13 日から 12 月 1 日まで白海で洋上実験

が行われた。途中、14日には10時間3分にわたり原子力のみで航海をおこなうことに成功した。蒸気発生装置群の出力はやはり60%止まりではあったが、潜航時速度23.3ノットを実現した。この洋上実験は海軍中将イワノフ（В.Н.Иванов）を長とする国家委員会が実施した。委員にはアレクサンドロフ、ドレジャーリ、ペレグウドフ、グラドコフ（Г.А.Гладков）、デレンス（П.А.Деленс）、コーシュキン（Ю.Н.Кошкин）らが加わっていた<sup>49)</sup>。

しかし、この実験は、潜水艦に乗組員を送り、その生命を託す立場の海軍当事者にとって、けっして満足のゆくものではなかった。彼らは原子力潜水艦の技術的未完成性の危惧し、その採用に反対した。それにもかかわらず、実験の成功を確認したとする上記国家委員会の決議は党中央委員会と閣僚会議で1959年1月17日承認され<sup>50)</sup>、ただちに原子力潜水艦プロジェクト 627は<sup>カー</sup>K-3という戦術名を与えられて、試験航海のために海軍に引き渡された。そして、K-3は1959年内に3回、それぞれ9昼夜、22昼夜、14昼夜の長期潜航実験に成功し（この段階で原子炉の出力は計画出力の80%に達した）、1962年7月には北極点までの北極海潜航航海に成功した。同じ年、同艦は“レーニンスキー・コムソモール（Ленинский Комсомол）”という栄誉ある名称を与えられた<sup>51)</sup>。

1955年10月22日付の閣僚会議布告により、<sup>カー</sup>K-3の試験結果をまたず、第402工場では12隻のプロジェクト 627 A型原子力潜水艦の建造が展開されることとなった。このシリーズの1号艦、<sup>カー</sup>K-5は出力80%で28ノットを出せるもので、1959年12月27日、北洋艦隊に配備された。つづいて、<sup>カー</sup>K-8は1960年8月31日、<sup>カー</sup>K-11、<sup>カー</sup>K-21、<sup>カー</sup>K-52は1961年12月27日、<sup>カー</sup>K-152は1961年11月4日、<sup>カー</sup>K-133、<sup>カー</sup>K-181は1962年10月16日、<sup>カー</sup>K-115は1962年12月30日、<sup>カー</sup>K-42は1963年11月4日、<sup>カー</sup>K-50は1963年12月20日、それぞれ海軍に配備された<sup>52)</sup>。

つづく、第2世代原子力潜水艦用原子炉の開発も始まっていた。1955年半ば、<sup>ニ</sup>ИИ-8のデレンスをリーダーにプロジェクト 639が始動する。

これは原子力潜水艦の重装備化と高速化を目標にソ連邦ではじめてのモノ・ブロック式の高出力の原子炉をめざしたものであったが、1958年初め、突然計画は中止となった<sup>53)</sup>。中止の理由は知らされなかったが、1996年になって海軍中将ウススキン（А.К.Усыскин）が、当時、海軍造船総管理部ではアメリカに最短の日時で追いつくために過大ともいえる原子力潜水艦の建造計画を作成しつつあり、プロジェクト 639 が目標とする諸指標はこの計画に照らしてあまりにも低いものとして大幅見直しを迫られた経緯を紹介している。プロジェクト 639 にかわって、1959年12月、出力をはじめとする目標数値を大幅に引き上げたプロジェクト 661 が発動されたが、完成までに長い年月を要し、661 艦の試験が完了したのは1969年12月のことであった<sup>54)</sup>。

<sup>カー</sup>  
K-162 という戦術名を与えられた同艦は1基の原子炉からなる高出力  
<sup>ペー・ペー・ウー</sup>  
Π Π Y を搭載し、船体に軽いチタン合金を利用することで、国家試験において42ノット（出力90-92%時。ちなみに計画出力は37-38ノットであった）という画期的なスピードを実現した。しかし、一連の国家試験、およびその後の就航の過程において次のような欠陥が明らかとなってきた。すなわち、船体が水を切ってすすむときに生じる乱流に起因する流体力学上の原因による外部からの雑音、および、敵に集中攻撃をかけるためにミサイルを全搭載数発射しようすると、2基ずつの発射にインターヴァルが3分もかかるという戦術的欠陥である。前者の欠陥は明らかに設計時における研究不足によるものであった。同艦は1988年に退役させられている<sup>55)</sup>。

プロジェクト 639 の突然の中止と目標数値の大幅上乘せ＝プロジェクト 661 発動の経緯は、かつてプロジェクト 627 に慎重な姿勢をしめしていた海軍もここにいたって原子力潜水艦建造に過大な期待をもつようになったことの現れであろう。

#### 4. 最初の原子力潜水艦用軽水炉の技術的未完成性

海軍関係者のプロジェクト 627 に対する憂慮には相当の根拠があった。27/ B M 試験台では、K -3 に引き続き建造される、ほぼ同型の原子力潜水艦 K -5、K -8、K -14 (それぞれ K -3 の動力装置を若干は改良している) のために地上試験が続行されていた<sup>56)</sup>。閣僚会議は実験結果の出るはるか以前の 1955 年 10 月 22 日には 627 型、同改良型原潜のシリーズ化をすでに決めていたのである<sup>57)</sup>。この連続して行われた実験の過程で、さまざまな故障が出来していたのである。1956 年末、1 次冷却水回路のパイプ群の溶接部から冷却水が漏出し、これがために循環ポンプが止まり、試験台での実験は一時中止のやむなきにいたった。多くの燃料要素が破損し、炉心の取り替えが必要となったからである。1957 年 5 月、27/ B M 試験台は復旧し、実験が再開され、61 年 1 月まで継続され、その後休止期間を挟んで、1961 年 5 月からまた次の原子炉について実験がすすめられた。この過程で 1962 年 8 月 3 日、ついに念願の原子炉のフル稼働＝計画出力 70MW を達成した。しかし、第 4 期実験の過程で、1965 年 12 月、小規模の冷却水の漏出が発見され、炉を停止して、冷却したあと、核燃料を取り出して炉内を点検したところ、耐食性遮蔽板が疲労した結果、裂け目を生じていたことが判明した。その修復を目的とした研究活動は多くの日時を要し、ようやく 1966 年 9 月～10 月、Н И И -8 が開発した方法によって修理が施された<sup>58)</sup>。

この間、1960 年 10 月 13 日、旧ソ連邦初の原潜事故が発生する。K -3 の同型艦で若干改良されているものの同じ型の炉をもつ K -8 で、航海中、蒸気発生器から冷却水が漏出したのである。幸い、この場合、乗組員たちが修理し、艦は自力で帰港することができた。しかし、翌年 7 月 4 日、同じ K -8 で、北大西洋上航海中、夥しい放射能が漏れ、司令官、上級士官、水兵などが後日死亡している。1963 年 4 月 10 日には、北大西洋上の K -19 の事故で 8 名が死亡、艦は航行不能となり、基地に曳航されている。さらに、1965 年 2 月 10 日、モロトフスクで、繫留中の K -11 の炉が過

熱し、コントロール不能となり、8名が被曝した<sup>59)</sup>。

旧ソ連邦の原潜事故については、今日数多くの事例がすでに明らかにされている。ここに掲げたものは、言うまでもなく、最初の原潜用原子炉とほぼ同型のものをもつ艦に関するもののみである。軽水炉について十分な自信も展望を持ちきれていない段階からスタートし、短期間にあまりに多くの技術的課題を解決し、そのうえ政策決定の先行にせき立てられてきた、拙速の帰結がうかがえよう。

#### IV. 旧ソ連邦初の液体金属冷却炉を利用した原子力潜水艦＝プロジェクト 645 用原子動力装置の開発

##### 1. プロジェクトの始動と体制

“<sup>ヴェー</sup>B” 研究所（途中で物理エネルギー研究所—Физико-  
Энергетический институт：<sup>エフ・エ・イー</sup>ФЭИ—と名前がかわる）では液体金属冷却材利用の可能性について一連の実験研究が実施されていた。この研究所は、1946年、ドイツ人専門家の“協力”もえて、一連の原子核物理学の実験的研究のために設立されたもので、当初はベリリウム、ないしその酸化物からなる減速材をもつ原子炉の開発、リング陽子加速器の製作、熱核爆発と大気中での核爆発の光学的現象にかかわる研究など、当時の旧ソ連邦が抱えていた核開発上の課題を複数担当していた。なかでも、レイプンスキーが一貫して指導した液体金属冷却炉の研究開発は同研究所の中心的課題であったが、その過程で1954年、1962年、1966年、そして1977年と事故を起こしている。最初の事故の被害者のなかにはレイプンスキー自身も含まれていた<sup>60)</sup>。

液体金属冷却の利点は、冷却材の1次回路における気圧が20～40気圧と低くて済むことにあった。また、炉心単位容積あたりの冷却能が加圧水と比べ物にならないくらい高く、そのため炉をかなり小さくできることにあった。ナトリウム、ナトリウム-カリウム合金、鉛-ビスマス合金な

さまざまな冷却材素材の比較研究がおこなわれたのち、鉛-ビスマスを“B”研究所は選んだ。鉛-ビスマスの共融混合物を選んだのは、蒸気発生器に冷却材漏れ、あるいは水漏れが万一生じた場合も、それが水と反応しない点にあった。ナトリウムやナトリウム-カリウム合金は水と急激に反応し、しばしば火災を起こすという欠陥があった<sup>61)</sup>。

1950年10月、レイプンスキーは第11国立特別設計研究所(Г С П И -11)が提出した熱中性子炉= B T 炉設計のための「技術的諸課題(Т 3)」を承認した。液体金属冷却方式蒸気発生装置群の設計はボドリスクにある油圧プレス特殊設計ビューロー(О К Б Гидропресс)で、その所長シオルコヴィチの指導下、2段階ですすめられた。第1段階は、О К Б Гидропрессと“B”研究所で研究・実験をすすめながら、原寸大の地上試験用の液体金属冷却原子炉(地上の発電装置を予定)と原子力潜水艦プロジェクト№ 627におけるものと同じサイズの蒸気発生装置群用の原子炉の設計を並行してすすめた。両炉の構造は同じであったが、細部に若干の相違点があった。前者は27/B T 試験台用原子炉と呼ばれ、後者は試作原子力潜水艦627/B T 用の627/B T 炉と呼ばれた。設計は1952年から1955年なかばの時期にかけて行われる予定であった。1952年12月、P Г Y で両 B T 炉の設計上のコンセプトが検討され、そこでは B T 炉をとくに輸送機関の動力装置用、つまり原子力潜水艦用の627/B T 炉として設計してゆくことが確認された<sup>62)</sup>。

原子力潜水艦用原子炉開発に目的がほぼ一本化され、概略設計がほぼ完了した段階の1955年10月22日、閣僚会議布告によって№ 627/B T を基礎に新たな型の蒸気発生装置群を設計・開発するプロジェクトが発動された。このプロジェクトは新たにプロジェクト№ 645 というインデックスを与えられた<sup>63)</sup>。こうして、より高い集中力を要する第2段階が始まった。上記の閣僚会議布告をうけた、1955年10月31日付の重機械・運輸機械製作省の指令によって、技術設計の完了は1955年12月までとさ

れた。この期限は<sup>オー・カー・ベ</sup> О К Б <sup>ギド ロ プ レ ス</sup> Гидропрессが抱えていた仕事との関連で決められたものではあったが、日程に余裕がなかったことに違いはない。潜水艦本体の設計（図 - 3）は第 143 特別設計ビューローで、当初はペレグウドフが担当していたが、のちナザロフ（А.К.Назаров）がプロジェクト№.645の主任設計技師となった。プロジェクト№.645には、オルジョニキーゼ名称ポドリスク工場（液体金属冷却蒸気発生装置群の製作を担当）、<sup>ニ</sup> Н И И -9（燃料要素の構成とその製作法の開発を担当）、第 12 工場（燃料要素の製造）、油圧機械中央設計ビューロー（<sup>オー・カー・ベ</sup> О К Б <sup>ギド ロ マ シ</sup> Гидромаш：1次冷却材回路用ポンプの設計）、カリーニン名称モスクワ・ポンプ工場（ポンプの製作）、航空機工業省第 12 特殊設計ビューロー（制御システムの設計）、アマチュア中央設計ビューロー（10mm～220mm 径の特殊ベロー・アマチュアの設計）、「エコノマイザー」工場（管状減圧器、ポンプ用パイプの設計と製作）、造船工業省第 48 中央科学研究所（<sup>ツェー・エヌ・イー・イー</sup> Ц Н И И -48：鋼材、溶接法と溶接度のコントロール法開発）、同 <sup>ツェー・エヌ・イー・イー</sup> Ц Н И И -45（自動熱管理システムの開発）、第 12 計測制御機器設計ビューロー（自動管理チャートの開発）などが参加した。また、ほかに<sup>オー・カー・ベ</sup> О К Б <sup>ギド ロ プ レ ス</sup> Гидропрессの課題に関して、<sup>ツァーギ</sup> Ц А Г И、重機械中央科学研究所などが協力した<sup>64)</sup>。

## 2. 技術開発の諸課題と地上実験

当初予定より約 1 年遅れの 1957 年 1 月、中型機械製作省はプロジェクト 645 の技術設計を承認した。これによれば、やはり原子炉をふたつ並べたかたちで、それぞれの出力は 73MW であった。炉型は 1 次冷却材に鉛-ビスマスの共融混合物を使う、中エネルギー域中性子炉で、<sup>ヴェー・テー</sup> В Т -1 炉と称された。燃料は 90% 濃縮ウランで、減速材にはベリリウムを利用していた。2 次冷却回路の冷却材は水であり、蒸気発生器は両側舷に配置されていた。1 時間 90 トン、40 気圧、350～380 度の蒸気生産能力を有していた。重要な特徴のひとつは、融点 125 度の液体金属冷却材を



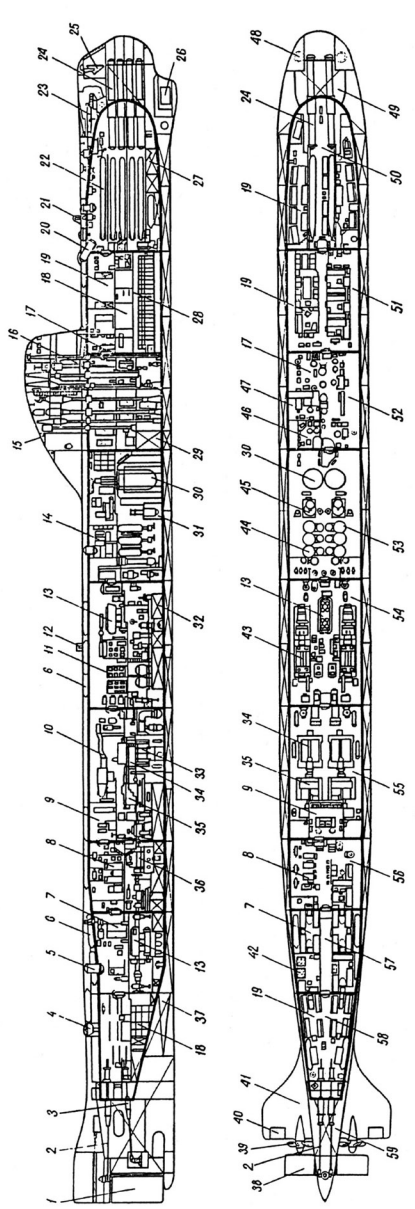


図-3 原子力潜水艦プロジェクト 645 型 縦断面図と水平断面図

1. 垂直舵, 2. 垂直舵の伝動機構, 3. 水平舵の伝動機構, 4. 信号ブイ, 5. 入り口ハッチ, 6. 圧搾空気ボンベ, 7. キャビン, 8. 主電動機 П Г -116 制御機器の防護カバー, 9. 主電力設備の計器・制御盤, 10. 主蒸気パイプ, 11. 発電機の防護カバー, 12. 水中音響速度測定装置 «Берега», 13. 気水噴出装置冷却機 Э-320, 14. 電気設備, 15. 司令塔のカバー, 16. 強化された司令塔部, 17. 中央監視所, 18. 食糧室, 19. 居住区, 20. 魚雷積載ハッチ, 21. 水中レーダー М Г -13 の発見用 Г А С Антенナ, 22. 予備の魚雷, 23. 船首部水平舵の梁の伝動機構, 24. 魚雷発射装置 Т -2, 25. 水中レーダー・対潜測音機ステーション «Арктика-М» のアンテナ, 26. 対潜測音機ステーション М Г -10 のアンテナ, 27. 環状空隙のタンク, 28. 蓄電器室, 29. 急速潜水用タンク, 30. 原子炉 Р М -1, 31. 緩衝部, 32. 飲料水給水タンク, 33. 主コンデンサ, 34. 主タービン, 35. 主減圧装置, 36. スクリュー用電動機 П Г -116 37. 船尾部トリムにおかれたタンク, 38. 船尾部水平舵, 39. スクリュー, 40. 水平小艇, 41. スタビライザー, 42. 調理室, 43. タービン発電機, 44. 蒸気発生器 М П -2, 45. 主循環ポンプ, 46. 水中音響機器室, 47. 航海士室, 48. 魚雷探知機 «Плутоний (Пултоне)» 用 Г А С Анテナ, 49. 船首部先端, 50. 魚雷区画 (第2区画), 51. 蓄電器区画 (第1区画), 52. 中央監視区画 (第3区画), 53. エネルギ-設備区画 (第4区画), 54. タービン発電機区画 (第5区画), 55. タービン区画 (第6区画), 56. 電動機区画 (第7区画), 57. 居住区 (第8区画), 58. 船尾部区画 (第9区画), 59. 船尾部先端

出所) А. М. Антонов, «Атомная подводная лодка пр. 645», «Судостроение» No.10 1995 г. (No.695), стр.59.

たえず 140 度以上に保つ加熱器とそれにともなう特別の諸設備が必要であったことであろう。このため、蒸気発生装置群の表面の熱を利用した、きわめて複雑な形状の管状蒸気加熱器が開発された。共融混合物の量は 7.3m<sup>3</sup> であった<sup>65)</sup>。

もっとも難しい仕事は蒸気発生器<sup>エム・ペー</sup> M Π -1 の設計であった。艦の両舷に 3 カ所の渦巻管部が装備された。それぞれの渦巻管部はエコノマイザー、蒸気分離器、過熱部を U 字型管に配置したものからなっていた。27/<sup>ヴェー・デー</sup> B T 用 Π Π Y の技術設計はおおむね、1955 年 2 月までに終了し、1958 年 11 月試験台に炉心部が装備され、年末までには試験台上への設備の据え付けが完了した。1959 年 3 月、1 次回路に鉛-ビスマスの共融混合物が充填され、まず計画出力の 10% で原子炉を動かしてみた。1960 年 4 月 8 日には早くも計画出力を達成した<sup>66)</sup>。1960 年 12 月に最初の燃料が尽き、1961 年 2 月～3 月、燃料の取り外しと設備の点検を実施した結果、スラグ、マグネシウム酸化物、鉄と鉛が炉容器の内部で大量に発見された<sup>67)</sup>。

しかし、この事態の徹底した解明がはたされるまえに、地上試験関係者は新しい課題に忙殺されることになる。1961 年 8 月、中型機械製作省の決定で、次期原子力潜水艦プロジェクト No. 705 用の新しい液体金属冷却式 Π Π Y = O K -550 の実験が開始されたのである。その設計はアフリカントフの指導のもと、<sup>オー・カー・ペー・エム</sup> O K B M が担当し、蒸気発生器の設計は<sup>オー・カー・ペー</sup> O K B Гидропресс が担当した。このため、27 試験台は改修され、1965 年末には 27/<sup>ヴェー・デー</sup> B T -5 として再びそこで実験が行われるようになった。1966 年 11 月末、<sup>オー・カー</sup> O K -550 はまず 30～75% の出力で実験に付された。この装置の地上実験は 1975 年まで継続されている。しかし、その間、冷却材のスラグ化、合金の酸化、蒸気発生器からの冷却材漏れなどが続出し、どのようにしても事態が改善されないの、ついに実験継続を断念した<sup>68)</sup>。

もうひとつ重要な課題であったのは、液体金属の液状に保つ装置群の開

発とその実験であった。1953年、10,000kWの重油ボイラーを装備した液体金属加熱装置のモデルが設計されたが、検討の結果、重油ボイラーは容積が大きく、金属を多用して重く、水力学的に複雑であること等がわかり、1954年初には管状電炉（出力1,500kW）に切り換えた。この地上試験用設備群は「試験台1500」と名付けられた。公式には1956年8月に完成したことになってはいるが、実際の据え付けが完了したのは1957年になってからである。そこで、液体金属用200mmバルブの実験、さらに液体金属の酸化を防止するためのフィルターの熱・水力学的特性とその作業特性の研究、酸化防止技術の改良、 $\Pi \Pi Y$ 冷却のために平行して連結された5本の冷却水管の実験、蒸気や電力による液体金属加熱装置の試作、さまざまな構造材の実験などが実施された<sup>69)</sup>。

しかし、こうした装置を装備することで、 $B T$ 用 $\Pi \Pi Y$ は627Aのそれより13.5%も重たくなった。また、主タービン、動力伝達装置群の大きさは同じでも、高出力化に伴いタービン発電設備全体は4倍も重たくなり、結果として動力装置全体の重量はNo.627艦に比べて20%も重たくなった。このため、予備のディーゼル発電機の設置を断念するなど、軽量化が大きな課題となった<sup>70)</sup>。

### 3. 原子力潜水艦プロジェクト 645の建造とその問題点

造船工業省は645の第402工場における起工式を1958年7月15日に挙行了。同艦は1962年4月1日に進水式を迎え、8月11日には $\Pi \Pi Y$ の原子炉部分が据えつけられ、一応の完成を見た。12月5日、工場のボイラーからの蒸気の力を借りて、液体金属加熱器が稼働し、 $\Pi \Pi Y$ が始動した<sup>71)</sup>。

それと並行して、潜水艦が建造されていた職区に隣接した沿岸に特別な建屋No.371が建てられ、そこでは鉛-ビスマスの共融混合物が準備されていた。1次回路に冷却材を充填する作業はレイブンスキーの直接の指導で、12月7日に実施された。循環ポンプ $\Pi H$ -14の装備も完了し、12

月 27 日、ふたつの原子炉は計画出力の 20% の出力ではじめて稼働した。この段階から、繫留実験がはじまり、それは 1963 年 7 月まで続いた。実験は中型機械製作省エネルギー設備管理部長ニコラエフ (Н.А. Николаев) の監督のもとすすめられた。つづく洋上航行実験はホロスティアーク (Г.Н. Холостяков) 海軍中將を長とする国家委員会の手で実施された。国家委員会は完成＝原子炉フル稼働の時点において同艦がしめすべき性能 (速度や操縦性等) にたいする「技術的・戦略的要求 (Т Т 3)」を確定した。当時のソ連邦どころか、世界にもない高い指標であった。1963 年 10 月 30 日、同艦は海軍に引き渡され、<sup>カー</sup>K -27 という戦術名を与えられた<sup>72)</sup>。長さ 109.8m、幅 8.3m、平均吃水 5.9m、排水量 (通常) 3,420m<sup>3</sup> (最大時 4,380m<sup>3</sup>)、予備浮力 28%、潜航深度 300m (ただし、航行深度は 270m)、浮上航行時最高速度 30.2 ノット、潜航中最大速度 14.7 ノット、連続潜航期間 50 昼夜、乗組員 105 名、というのがその指標であった<sup>73)</sup>。

1964 年 4 月～5 月、<sup>カー</sup>K -27 ははじめて自力航海実験によって、51 昼夜連続潜航の記録をつくった。1964 年 7 月～9 月、<sup>カー</sup>K -27 は造船工場設備の点検、乗組員の交替と予防的な修理が施された。翌 1965 年 7 月～9 月、再び自力航海に出て地中海に入り、帰還後 2 年間にわたり改修、設備近代化が施され、その後、みたび、洋上航海に出発した。1968 年 5 月 24 日、左舷の原子炉で液体金属のスラッグの付着とそれによる炉心における冷却材の通路の閉塞を原因とする事故が発生した。過熱した燃料が 1 次冷却回路の一部などのうえに落ちてしまった。炉心は破壊された。乗組員の多くが被曝し、両炉は停止の止むなきにいたった。このため、冷却材は固まった。艦は曳航され帰還、そのまま退役処分となった。1981 年 9 月にも、同型艦が深度 50m の地点で冷却材が固まる事故を起こしている<sup>74)</sup>。

軽水炉の場合と同じく、試験の成功をまつことなく、1960 年 6 月、党中央委員会と閣僚会議の名による特別布告により、<sup>オー・カー</sup>O K -550 型 <sup>ペー・ペー・ウー</sup>Π Π У

を2基搭載する原子力潜水艦プロジェクトNo.705が発動された<sup>75)</sup>。これは、液体金属冷却材を利用することによる炉の軽量化を見込んだものであった。その後プロジェクトNo.705は、No.645艦の事故をうけて、1971年、72年、75年と3回にわたって設計の見直しがおこなわれたものの、その建造は継続され、1970年の9月には一応完成し、10月から一連の試験に付されることになった。しかし、海軍に配備された直後の1972年2月、事故により現役を退いている。この客観的な失敗にもかかわらず、このプロジェクトNo.705型原子力潜水艦は1981年までにさらに3隻が建造された<sup>76)</sup>。

## V. むすび

旧ソ連邦における船用原子動力装置開発は原子炉に黒鉛減速炉を利用することを想定してスタートした。同時に、当初から液体金属冷却材を利用した原子炉の開発も有望なヴァリエーションとして追求されていった。

彼らが黒鉛減速炉の本来的な不適切性に気がつくのに、それほど時間は必要ではなかった。しかし、にわかにクローズ・アップされた軽水炉に関して、彼らは必ずしも十分な準備を有してはいなかった。軽水炉開発計画はグウレヴィチなどの手によって一旦は着手されながらも、なんら具体的な成果をまたずに中断していたし、上述のような経過でふたたびその研究開発が必要とされるようになった時点でも、なぜかグウレヴィチやフェインベルクが責任ある指導的な役割をはたすことはなかったのである。

このように軽水炉開発に十分な自信をもてないスタートに加えて、アレクサンドロフら開発責任者たちは、プロジェクトが始動してからわずか3年間程度のきわめて短い期間にすべての技術的課題を解決する必要に迫られた。できあがった原子炉は、結局100%出力を実現できない未完成性を引きずったままの登場となった。そのうえ、政府はその試験結果を待つことなく、すでにシリーズ化を決定していたのである。

船用液体金属冷却炉はアメリカにおいても頓挫した感がある<sup>77)</sup>。そもそも

も冷却材となる合金の製造とその品質維持に手間がかかり、1次冷却材回路のなかでそれが液状を保つための加熱器その他補助装置群の制御に慎重さが要求され、液体金属を循環させる循環ポンプやパイプなどの強度や耐食性の一層の強化が必要であり、これらの条件を狭い空間で実現しなくてはならないがゆえに、一般に液体金属冷却炉は輸送機関には不向きであるとして良い<sup>78)</sup>。しかし、旧ソ連邦の開発当事者たちは当初の実験結果の良好さに眩惑されたのか、この計画実現に拘泥していった。ようやく炉が完成したあとも、スラグ、マグネシウム酸化物、鉄や鉛が炉内に付着する事態に遭遇したにもかかわらず、さらに、液体金属の加熱器など補助装置群の設置により重量が増え、当初予想されたメリットが急速に失われつつあったにもかかわらず、液体金属冷却炉を利用した原子力潜水艦の建造は続けられ、ついに破局的な結末を迎えることとなった。

以上のように、旧ソ連邦における船用原子炉開発は研究過程論の立場からこれを見た場合、多くの拙速を指摘することができるものなのである。

最後に、けっして看過することのできない旧ソ連邦における船用原子炉開発の経験として、原子力砕氷船 = 《レーニン (Ленин) 号》について触れなければならない。ドレジャーリの証言<sup>79)</sup>によれば、《レーニン号》用の船用原子炉製作はプロジェクト№.627型の原子炉開発の「経験を活かす」かたちですすめられた。つまり、若干の指標の違い<sup>80)</sup>はありつつも、№.627艦用  $\Pi \Pi \dot{Y}$  がほぼそのまま応用されたものと見てよい。彼らにとって、主たる目的は原子力潜水艦用の  $\Pi \Pi \dot{Y}$  開発であり、《レーニン号》の開発は原子力“平和利用”をアピールする政治的な副産物と見るべきであろう。しかし、この《レーニン号》も、たった7回の航海ののち、故障等から“全面改修”が施されなければならなかったのである<sup>81)</sup>。

## 【注記】

- 1), とりわけ、学術指導者アレクサンドロフの子息が父からの聞き書き等をまとめた著作、*П. А. Александров, «Академик Анатолий Петрович Александров*



- Прямая речь» Москва, Наука, 2001 г., および、ドレジャーリの自伝に彼が残した訂正も補充した伝記、*Н. А. Доллежалъ*, «У истоков рукотворного мира (записки конструктора)» 2-е издание, Москва, Издательство ГУП НИКИЭТ, 1999 г. はこうしたもののなかでもとくに貴重である。
- 2), こうしたものに分類されるものとしては、Под ред. *В. К. Уласевича и др.*, «Создано под руководством Н. А. Доллежала: О Ядерных реакторах и их творцах (к 100-летию Н. А. Доллежала)», Москва, Издательство ГУП НИКИЭТ, 1999 г., および、*В. Ф. Громов и М. Ф. Троянов*, ГНЦ РФ—ФЭИ им. А. И. Лейпунского, «Атомная энергия» Том 80, вып. 5 (май 1996), сс. 315-320 が挙げられよう。
- 3), とりわけ、Под ред. *А. М. Петросьянца и др.*, «Ядерная индустрия России» (Москва, Энергоатомиздат, 2000 г.) は 1,000 ページを越す、大部、浩瀚な著書で、分野別、組織別に詳細に旧ソ連邦における核開発過程が記述されている、たいへん有用な情報源である。また、Под ред. *В. А. Сидоренко и др.*, «К истории использования атомной энергии в СССР, 1944-1951 (Документы и материалы)» (Обнинск, ГНЦ Физико-энергетический институт, 1994 г.) は原子力の潜水艦用原子炉も含んだ“平和”利用に関する政策文書の集成であり、たいへん貴重なものである。
- 4), См. *Л. Осипенко, Л. Жильцов и Н. Мормуль*, «Атомная подводная эпопея — Подвиги, неудачи, катастрофы —» Изд-во БОРГЕС, Москва, 1994 г. 日本語で読めるものとしては、さしあたり、ジョシュア・ハンドラー／徳永盛一訳「ソ連／ロシア原子力潜水艦の重大事故」(『軍事研究』1999年3月号、199—207ページ) 参照のこと。
- 5), 大田憲司、木下道雄「ソ連の原子力開発: V V E R 型原子炉の開発」、『原子力工業』第36巻第5号(1990年5月)、70—74ページ。同第36巻第6号(1990年6月)、77—79ページ。なお、日本語で読める旧ソ連邦の原子力潜水艦の歴史については、エウゲーニィ・ミャースニコフ／徳永盛一訳「ソ連原子力潜水艦の歴史」(『軍事研究』1999年3月号、189—198ページ)、および、徳永盛一「解説・ソ連原子力潜水艦の歴史」(同誌同号、184—188ページ)が簡潔なまとめとなっている。
- 6), 市川浩『科学技術大国ソ連の興亡—環境破壊・経済停滞と技術展開—』、勁草書房、1996年、118—121ページ。
- 7), Протокол №66 заседания НТС ПГУ при СМ СССР от 24.3.1947 г., Под ред. *Сидоренко и др.*, Указ. соч. стр.60.
- 8), *Б. С. Поздняков*, Доклад на заседании НТС ПГУ “Энергосиловые установки на ядерных реакциях”, Там же, сс. 61-69.
- 9), *С. М. Фейнберг*, Доклад “Атомная энергия для промышленных целей”, Там же, сс. 107-113.
- 10), *П. А. Александров*, Указ. соч., сс. 127-128.
- 11), ゲルヴィチ (Гурвич) は、アレクサンドロフ (息子) の誤記で、本当はグウレヴィチ (И. И. Гуревич) ではないかと考えている。彼は“第2研究所”の副所長のひ



- とりで、“マリュートカ”計画の中心を担っていたことは、ネミロフスキー（П.Э.Немировский）の回想（П.Э.Немировский, “На заре теории реакторов: идеи и люди”, Курчатовский институт, «История атомного проекта» вып.2, М.; 1995 г.с.89-92.）でも明らかである。
- 12), П. А. Александров, Указ. соч., сс.128,168.
  - 13), Из докладной записки ПГУ при СМ СССР “Использование тепла для энергосиловых установок” (И. В. Курчатов, Б. С. Поздняков), Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.121-126.
  - 14), Немировский, Указ., сс.90-92.
  - 15), Записка членов НТС ПГУ и Спецкомитета при СМ СССР Председателю Спецкомитета Л. П. Берия с предложениями о создании энергетических реакторов и развитии других направлений мирного использования мирной энергии, Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.126,127.
  - 16), Протокол совещания у начальника ПГУ при СМ СССР Ванникова Б. Л. о разработке корабельного реактора АМ и экспериментальной установки такого же типа от 11 февраля 1950 г., Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс. 129-133.
  - 17), А. П. Завенягин, Б. С. Поздняков. «Предложение ПГУ при СМ СССР к плану работ на 1950 г. по использованию атомной энергии в народном хозяйстве», Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.134-137.
  - 18), Постановление СМ СССР №.2030-788 от 16.5.1950 г. “О научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работах по использованию атомной энергии для мирных целей”, Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.140-142.
  - 19), Постановление СМ СССР №.3333-1399 от 29.7.1950 г. “О дополнительных организационных мероприятиях в области научно-исследовательских и экспериментальных работ по использованию атомной энергии для народного хозяйства”, Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.147-149.
  - 19), А. П. Завенягин, И. В. Курчатов, “Отчет ПГУ при СМ СССР о работах по созданию энергетических установок от 27.4.1951 г.”, Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.151-154.
  - 20), Д оллежалъ, Указ. соч., сс.151,152 и 217.
  - 21), Завенягин и Курчатов, Указ., Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.151-154.
  - 22), Из протокола №.Т-19 заседания НТС ПГУ при СМ СССР от 3 октября 1949 г., Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.103-105.
  - 23), В. Н. Михайлов и др., «Атомная отрасль России» Москва, ИздАТ, 1998. стр.70.
  - 24), Завенягин и Курчатов, Указ., Под ред. Сидоренко и др., Указ. соч. сс.153.
  - 25), Под ред. Петросьянца и др. Указ. соч. сс.477.
  - 26), Там же, сс.477,478.

- 27), *Доллежалъ*, Указ. соч., стр.150.
- 28), *П. А. Александров*, Указ. соч., стр.168. フェインベルクやグウレヴィチがふさわしい役割をはたしうるポストに就かなかったこと背景として推測できるのは、1947年の“哲学討論”にはじまる学問の諸分野における一連の“討論”のなかで激化していった“コスモポリタニズム”、“対外拝跪主義”批判の影響であろう（このキャンペーンについては、さしあたり、市川浩「開催されなかった『物理学会議』（1949年）」、『*イル・サジアトーレ*』第30号、2001年、9－19ページ、参照）。フェインベルクはその姓から、ドイツ系で、グウレヴィチはその名イサイ（Исаи）からユダヤ系であった可能性が高い。しかし、筆者はその確証を未だえておらず、これは推測にとどまっている。
- 29), *Доллежалъ*, Указ. соч., стр.149.
- 30), *Р. А. Шмаков*, Большая атомная торпедная подводная лодка проекта 627. «Тайфун (Военно-технический альманах)», специальный выпуск, С.Петербург, 2001 г., сс.22,23.
- 31), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., стр.479.
- 32), Там же, стр.480.
- 33), Там же.
- 34), Там же.
- 35), Там же, сс.480,481.
- 36), Там же, стр.481.
- 37), Там же.
- 38), Там же, стр.482.
- 39), Там же.
- 40), Там же.
- 41), *А.М. Антонов*, “Атомные подводные лодки пр.627 и 627А”, «Судостроение» 7 1995 г.(No. 692), стр.78.
- 42), *Шмаков*, Указ., сс.22,23.
- 43), *Антонов*, Указ., стр.79.
- 44), Отечественные атомные подводные лодки. «Техника и вооружение (Научно-популярный журнал)», май-июнь 2000 г. стр.3. сс.16,17. *В. Ильин и А. Колесников*. «Иллюстрированный справочник: Подводные лодки России», Москва, Изд-во Астрель, 2002. стр.20.
- 45), *Ильин и Колесников*, Указ. соч., стр.11.
- 46), *Доллежалъ*, Указ. соч., стр.153.
- 47), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., стр.483.
- 48), *Антонов*, Указ., стр.80.
- 49), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., стр.484.
- 50), Там же, сс.484,485.
- 51), *Р. А. Шмаков*, Первые советские ПЛА проекта 627. «Подводный флот», No.7,

- 2001 年, 頁16-19.
- 52), *Ильин и Колесников*, Указ. соч., сс.12-16.
- 53), *Г. А. Станиславский*, Реакторные установки для атомных подводных лодок, *Уласевича и др.*, Указ. соч., сс.59,
- 54), *В. К. Уласевич*, НИИКИЭТ для Военно-морского флота: вехи творчества (1952-1986), Там же, стр.75.
- 55), «Памятники науки и техники отечественной атомной отрасли», Международный гуманитарный фонд “Знание”, 1999 г. стр.58.
- 56), *Ильин и Колесников*, Указ. соч., сс.12,13.
- 57), Там же, стр.12.
- 58), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., сс.483,484.
- 59), *Михайлов и др.*, Указ. соч., сс.81-89.
- 60), *Громов и Троянов*, Указ., сс.315,316.
- 61), ロシア国立理論・実験物理学研究所のキセリョフ博士（ доктор Геннадий Владимирович Киселёв ）の口頭による教示（於、モスクワ、2002 年 9 月 12 日）による。
- 62), *А. М. Антонов*, “Атомная подводная лодка пр.645”, «Судостроение» No.10 1995 г.(695), стр.57.
- 63), Там же, стр.58.
- 64), Там же, и Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., сс.498-490.
- 65), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., стр.497.
- 66), Там же.
- 67), Там же.
- 68), Там же, стр.498.
- 69), «ОКБ Гидропресс -50 лет», Подольск, 2000 г. сс.51,52.
- 70), *Антонов*, Указ. “Атомная подводная лодка пр. 645”, стр.58.
- 71), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., стр.498.
- 72), *Ильин и Колесников*, Указ. соч., стр.18.
- 73), Там же, стр.20.
- 74), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., сс.498,499.
- 75), *Ильин и Колесников*, Указ. соч., стр.63.
- 76), Под ред. *Петросьянца и др.*, Указ. соч., сс.500,501.
- 77), 1955 年、ニューヨーク州ウエスト＝ミルトンにおいて液体ナトリウムを冷却材とした試験炉＝「Mark A」の地上実験がはじまり、1957 年には、その結果をうけて、アメリカ 2 隻目の原子力潜水艦「Sea Wolf」用のナトリウム冷却炉 S-2G の実験がはじまった。しかしながら、パイプに高熱の負担がかかり、また、ナトリウムの腐食作用で裂け目が生じるなど、不具合が多く、ついに出力の急低下とともに放射能を帯びたナトリウムが炉の外部に噴出するにいたった。このため、アメリカでは液体金属冷却炉の応用を断念、「Sea Wolf」には軽水炉が装備されることとなった

(*Антонов, Указ. “Атомная подводная лодка пр. 645”, стр.58.*)。

78), ロシア国立理論・実験物理学研究所のキセリョフ博士 (доктор Геннадий Владимирович Киселёв) の口頭による教示 (於、モスクワ、2002年9月12日) による。

79), *Доллежалъ, Указ. соч., стр.153.*

80), 《レーニン号》の原子動力装置については、*А. П. Александров и др., “Атомный ледокол «Ленин», (Под ред. Н. А. Доллежала и др., «Ядерные реакторы и ядерная энергетика – Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958: Доклады Советских учёных» Москва, 1959, сс.60-86.)*に詳細な記述がある。これによると、原子炉の熱出力は90MW (№ 627 は70MW)、タービン出力は計44,000馬力 (№ 627 は39,000馬力) とやや高くなっており、速度も18ノットであるが、それぞれ個別の蒸気発生器をもつ2基の原子炉を並列にした配置など、原理的には№ 627用原子動力装置と同類のものであることが理解できる。

81), *А. М. Петросьянц, «Современные проблемы атомной науки и техники в СССР» М.: Атомиздат, 1976, сс.276-282.*

### 【附記】

本稿は (財) 福武学術文化振興財団研究助成、および、平成11～14年度日本学術振興会科学研究補助金「基盤研究(C)(2)」の助成をうけた研究成果の一部である。

なお、印刷過程での技術的理由からキリル文字の適切な印字種を用いることができず、読みづらいものとなってしまった。ここにお詫びとともに、読者のご寛恕を請いたい。

### 【謝辞】

日本では入手しにくい書籍や情報の提供に関して、ロシア国立理論・実験物理学研究所のゲンナジー・ヴラディーミロヴィチ・キセリョフ博士のお世話になった。また、元海外電力調査会の藤井晴雄氏から有益なコメントと文献の紹介をいただいた。記して感謝する [Автор статьи благодарит доктора Геннадия Владимировича Киселёва и господина Фуздии, Харуо за научную помощь.]。