

門外漢 トリウム熔融塩炉を調べる (5)

小説から始まった“4S炉”の情報収集

井上 祥一郎

はじめに

超小型原子炉“4S炉”とは、発明者の服部禎男によれば、「50個ほどの部品によって構成され、動く装置がほとんどないため故障はほぼ無し。全自動で運転員不要。燃料の交換は30年しなくてよいのでヒューマンエラーが無くなる。『スーパー・セーフ、スモール・アンド・シンプル』を取って命名した」とある。

筆者はこれまで、本誌で3回に亘って“トリウム熔融塩炉”について学んだことを個人研究として発表させて頂いた。4回目は本誌への書下ろしではなく、日韓技術士国際会議で発表した内容を転載して頂いた。この経緯から今回の個人研究発表を、表題のように(5)とした。

太平洋戦争敗戦の数年前に生まれ、小学校低学年時に原子爆弾(原爆)への恐怖を教えられた筆者にとって、核分裂は平和のために無くすべき対象であった。従って核分裂エネルギーを利用する原子力発電(以下原発)についても反対の立場であった。但し、電力の恩恵は無批判に受け入れ、原発反対行動は選挙時の投票で示す以外には何もしなかった。エネルギー技術に関しては、水力発電ダムの生態系に与える影響を問題視し、ダム撤去に対する関心の方が高かった。

原発への関心はあったが、積極的に情報を収集することもなかった。古川和男著「『原発』革命」(文春文庫 2001年)が積読(つんどく)になっていたことからそれが分かる。

この状況が一変したのが、2011年3月11日に発生した東日本大震災が引き起こした、東京電力福島第一原子力発電所(以下福島第一原発)の「沸騰水型(ウラン)軽水炉」の過酷事故であった。これ以降原発に関する情報収集を始め、拙論の(1)～(3)でその歩みを記述した。

技術士法に追加された「環境の保全や公共の福祉等の公益確保を謳った技術士の責務」に照らすと、原発の課題を学び発信することが、自己研鑽と公益確保の責務に合致すると思っている。

古川の紹介した“トリウム熔融塩炉”に関する資料(市販書)の入手は徐々に難しくなってきたので、多様な受動安全型原発の資料収集に範囲を広げることにした。今回の個人発表の対象炉を、トリウム熔融塩炉ではなく、4S炉とした理由である。

1. 4S炉情報との出会い

筆者は8部門(9科目)登録の技術士として、柔軟な考え方の必要性を感じてきた。また、表現についても簡潔な文章に意を用いてきた。その訓練に、小説を読むことが効果的というのが経験知である。特に引き込まれる科学小説は、著者の正確で科学的な情報収集力に負うところが大きい。今回の個人研究は、大下英治著の科学小説「エンロンが弾いた新エネルギー戦争の罟」(徳間文庫 2002)を手を取った

ときに始まった。1級の科学小説との出会いであった。

2. 「エンロンが弾いた新エネルギー戦争の罫」から（技術編）

小説「エンロンが弾いた新エネルギー戦争の罫」（以下大下本）は、2002年4月15日に徳間文庫オリジナル版として出版された。筆者は本を読むとき、興味を引いた場所に付箋を貼る癖がある。373頁の大下本に貼った付箋は、15枚に上った。“4S炉”についての解説は、大下本からの引用が最も読者の理解を得られると思うので、常識はずれの量を引用した。著作権の侵害が気になるが、出典、引用箇所を明記したことでお許しを願いたい。引用部分は“「ゴシック体」”とした。

2-1 “燃料交換不要の超小型原子炉”発明者のプロフィール（pp.47-48）

大下本の主人公は判然としない。物語の案内役は黒岩と名乗る大手経済新聞社の記者である。読み終わると黒岩が紹介する原発“燃料交換が要らない超小型原子炉”が主人公とも受け取れ、その発明者である熊井も主人公の一人と感じられる。

発明者の熊井について次のように紹介している。「熊井は1933年（昭和8年）7月に愛知県で生まれた。名古屋大学の電気工学科を卒業し、1956年に南部電力に入社した。一中略一熊井は、1957年に東京工科大学に国内留学した。1959年には、米国オークリッジ国立研究所で原子力安全解析の研修を受けた。帰国後、国の新型炉開発本部で建設電気機械課長として原子力各種安全基準作成活動に参加した。一中略一1980年に電力総合研究所名誉特別顧問となっている。筋金入りの原子力研究者であった」

手元に、服部禎男著「遺言 私が見た原子力と放射能の真実」（かざひの文庫2017）（以下 服部本）がある。大下本に遅れること15年である。著者の肩書は“電力中央研究所・元名誉特別顧問”である。同書から経歴を引用する。

「1933年7月27日生まれ。愛知県出身。東京大学工学博士。名古屋大学工学部電気学科卒業後、中部電力に入社。入社翌年、東京工大原子核工学修士課程に入学。卒業後、アメリカのオークリッジ原子力研究所原子炉災害評価研修課程へ。1971年：原子力リスク解析理論を発表。1972年：動燃事業団新型原子炉開発本部へ出向。1980年電力中央研究所・研究開発本部の初代原子力部長に就任。1986年アルゴンヌ原子力国立研究所と金属燃料高速炉および乾式再処理に関する研究協力開始。1988年：燃料無交換・運転員不要超小型安全原子炉の発案。1989年：放射線ホルミシス研究委員会委員長に就任。電力中央研究所原子力担当理事に就任。2001年：電力中央研究所名誉特別顧問。2005年：放射線ホルミシス研究が評価されバンガード賞受賞。著書は『「放射線は怖い」のウソ』（かざひの文庫）ほか」

大下本の「熊井」のモデルが、服部禎男だと分る。

2-2 大型原子力発電の問題は大型化（pp.55-66）

熊井：「原子力発電は大型化にすすんだところに問題があった」「海軍提督リコーバーが原子力エネルギーを動力に転換し発電システムにすることに成功（筆者注：原子力を動力源とする潜水艦ノーチラス号が1955年完成）した」「だが、原子力潜水艦開発に携わった研究所員たちは、再び仕事が（筆者注：国が原子力発電に肩入れして予算を出すと既存のエネルギー業界からの猛抗議を恐れて）なくなってしまう

った」「研究者たちは口を揃えて『大きくすればするほど、コストは安くあがるのだ』と大型化を主張した」黒岩：「大きくすればするほど原子炉は複雑化する。開発までに、時間も費用もかなり費やす。開発までの間、研究者たちは食いつばぐれことがなくなるということですね」熊井：「人間がパニックに陥ったとき、なにをおこすかわからない。大きくなった原子力発電所には、100人からの運転員がたち働いている。さまざまな状況に囲まれている人間が、ミスを犯す危険性を秘めている」黒岩：「炉心のまわりを、人間の手が入らない状態にしないといけないわけですね」熊井：「人間が無闇にバルブやスイッチに触れられない状態にしておく。コンピューターで徹底的に管理し、チェックしてセッティングできたら、人間はそこに触れない。ところが複雑系になると、コンピューターが狂う確率も高くなる。それも大型路線への道を進む原子力産業とは逆行だが、原子力発電の炉心は安全で単純なシステムを求めて小型化するべきだ。大型化が進む状況下で、小型化を推奨し運転員を信じてはいけないと口にすれば、『原子力産業がいけないということなのか』と業界から排除される。そうなっては、変えていこうにも変えられなくなってしまう」

2-3 アルゴンヌ研究所の研究成果 (pp.66-70)

2-3-1 乾式再処理法

熊井：「アルゴンヌ研究所では、従来のウラン再処理工場では考えられないほどコストが安く、簡単な再処理方法を考えついていた。いわゆる、乾式再処理方法と呼ばれるものです。液体カドミウムと溶解塩を用いる電解精製技術や還元抽出技術をつかって、ウランやプルトニウムを回収できる」「アルゴンヌ研究所で開発を進めている再処理工法は、再処理工場が少なく、外国に再処理をたのんでいる日本にはまさに朗報でした」(筆者注：大下本では詳しく述べていないが、服部は六ヶ所村で建設中のピューレックス法との比較を念頭に置いている)

2-3-2 金属燃料

熊井：「アルゴンヌの研究者たちは燃料にセラミックを使っていることが根本欠陥だということを知っていた。実験炉 EBR-II を操業したときから、(筆者注：セラミックではなく)ジルコニウム、ウラン、プルトニウムなどで作られた合金を燃料として使っている。セラミックにくらべると、かなり柔らかく、柔軟性があるために、被覆管にかける負担も少ない。精密な製造技術がもとめられるペレット製造法とは異なり、製造法も簡素である。さらに素晴らしいことに、燃料の増殖性がよく、熱を伝えやすい金属特有のすぐれた性質を有していた。フルパワーに出力を上げても、中心の温度が表面温度よりも 200℃ほどしか上がらない。それでフルパワーの出力が発揮できる」

2-4 原子炉をあくまで細身にするんだ!!! (pp.72-75)

「熊井は、以前から原子炉を大きくしていくよりむしろ、細身にしていくことのほうが安全性は高まると見ていた。細身の原子炉であれば、冷却水が沸騰して中性子吸収率が低くなっても、中身に対して表面積が大きいために、暴走を始める前に中性子が炉心の外に逃げるのではないか。中性子の漏れが大きくなれば、中性子の密度が減って連鎖反応が起こりにくくなって、炉心は自ら止まってしまうに違いな

い。熊井の直感では、炉心の直径が1メートル以下で、80センチほどが最適なのではないかと思っていた」

「熊井が本質的に安全な原子炉を求めて直径1メートル以下の細身の炉心を考えたことからとんでもない副産物が生まれた。中性子の炉心部から周囲への漏洩が連鎖反応のバランスに大きく影響する炉心になったために、冷却材ナトリウムの温度が上昇して密度が下がると中性子漏洩が増して反応度が低下して出力が下がり、冷却材ナトリウム温度が低下すれば逆に出力が上昇する。タービンの出力を上げるために加減弁を開いて蒸気を多く流せば、もっていかれる熱が増えて炉心を流れるナトリウムの温度が下がる。中性子の漏洩が減って核反応は増し、出力は上昇する。全くの自動負荷追従原子炉である」

「さっそく、電機大手メーカーの北斗電機担当者の枝川紀一に電話し、計算してくれるよう頼んだ。枝川は熊井の学んだ大学の研究メンバーとともに、ナトリウムの温度との関係、中性子の逃げの問題とありとあらゆる要素をインプットしてコンピュータで計算に計算を重ねた」2か月後、枝川：「何度も計算を重ねましたが、タービンがフルパワーになると原子炉がフルパワーになって、タービンがゼロになると、原子炉もまたゼロになりました。独りで、原子炉がタービンの加減弁の開閉に追従しているんです。制御棒がまったくいらなくなりました」

2-5 燃料交換が不要の仕組み (pp.75-76)

「細身の炉心では、通常時でも、核分裂の反応が続けられる臨界にならない。そこで、中性子が炉心から漏れないように、黒鉛の粒をステンレス細管に入れて環状の板にして腹巻のように巻いた。腹巻を巻いていると、巻いた部分だけが燃料となってよく燃える。この環状の反射帯を上の方にゆっくりずらすことで、新たな部分が燃料となる。1週間に1ミリ動かしていけば、燃料の長さが2メートルあれば、30年以上掛かって一番上までいく。少なくとも30年間は、燃料交換はしなくてすむ」

熊井：「私が発想した小さな原子炉に、アルゴンヌ研究所の金属燃料がうまく絡み合って、出力が制御できて、暴走しそうになると勝手に止まってしまう原子力発電所ができる。日本中、世界中に、この原発が広がっても、究極安全の発電所、なにが起こったとしても大丈夫だ」

2-6 原爆への利用について

鬼頭：「どんな小さな原子炉でも、それを使って爆弾をつくることはできるんじゃないのか」熊井：「使用済み核燃料には、通常キュリウムという物質が混ざっています。この物質が少しでも混ざっていると、プルトニウムは決して爆発しないのです。原子爆弾は、プルトニウムからキュリウムを分離することが最大の難関なのです。テロリストには、キュリウムを分離するだけの技術はないのです」

3. 「エンロンが弾いた新エネルギー戦争の罠」から (想定編)

前項で4S炉の技術について引用した。最近の技術士試験では“技術士としての資質 (コンピテンシー)” が、重視されている。この中にマネジメントが含まれているので、それに関連する以下の引用を行う。

大下本の舞台は、テロの発生、地球温暖化による気象異常、異常気象に伴う飲料水問題、それに付随する産油国と消費国間の軋轢、日本の石油備蓄減少、地震災害、大型軽水炉の事故等、今後世界が見舞われる危機を想定したものになっている。

技術士としてこれらの危機を乗り越え、公益の確保に寄与できるかを考える参考になると思う。

3-1 超小型原子炉の製作時間 (p.199)

鬼頭：「どのくらいの期間が必要なんだ？」熊井：「普通に考えれば、五年はかかる。まず、実証炉と呼ばれるプロトタイプを作らねばならない。実証炉さえできれば、1年か2年で実用化できます」

3-2 日本における必要基数 (p.256)

鬼頭：「日本のエネルギーが尽き、国家の機能の大半が麻痺するまでに、約130日ほどしかない。その間に、はたして、超小型原子炉をつくるのが可能だろうか」「日本のエネルギーを、現状の七割程度まかなうためにも、超小型原子炉を何個つくる必要がありますか」熊井：「8000基です」

熊井：「2006年に認可が降りた実証炉は2009年に完成しています」(p.259)が上記の前提条件になっている。

3-3 必要面積 (p.259)

「100万キロワット級の原子力発電所を建設するためには、60万坪の土地と、6年の歳月がかかるが、200坪の土地に（筆者注：1万キロ級の）超小型原子炉建設するのであれば・・・」（筆者注：超小型原子力発電所でも送電線は不可欠であるところから、送電線のある地域の中古車センターや駐車場を候補地として挙げている）(pp.262-264)

3-4 予算と返済 (p.273・274)

「超小型原子炉は、大型の原子炉よりはるかに安い予算でできる。が、それにしても8000基という膨大な数である。土地の料金と合わせると、総額はじつに100兆円にもおよぶ。日本の国家予算の歳入が、国債を勘定に入れなければ約50兆円である。実に、国家予算の二倍という金額であった」

矢野：「しかし、その予算は・・・」鬼頭：「こうゆうときのために、PFIがあるんでしょう」PFIとは、民間の技術や資金を活用して、効率的かつ効果的な公共サービスを図るという考えである。鬼頭：「とにかく、100兆円を、日本全国の保証会社や、銀行に請け負ってもらおう。それを、政治がきちんと利子をつけて、毎年4兆ずつ返済していけばいい」

4. 「エンロンが弾いた新エネルギー戦争の罠」から（異色編）(pp.142-144)

前述した技術編と想定編で述べた内容と関連はするが、筆者の関心事であるシカによる森林荒廃に関わる記述があるので、引用して紹介しておきたい。

黒岩：「原子力委員会専門委員の鳥井弘之先生がじつに興味深い例を引いています。アメリカのアリゾナ州に、カイバブ高原というところがある。二十世紀のはじめころは、約4000頭のクロオジカが住んでいたそうです。ピューマやコヨーテといった天敵とのバランスで、鹿の数は一定水準に保たれていた。しかし、クロオジ

カが狩猟に適しているという安易な理由から、人間がピューマやコヨーテを駆逐しはじめた。1906年から36年間の間に、ピューマ766頭、コヨーテ4388頭が駆除された。天敵が減少することで鹿の数は急増し、20年間で10万頭にまでなった。個体数の爆発です。当然、増えすぎた鹿は草原を食べ尽くす。次に来るものは、何か。飢餓と病気です。1924年から25年にかけての冬に、40%もが死んだ。その後も数は減りつづけ、最終的に1万頭まで減ったそうです」

「人類に天敵はいない。天敵の代わりに、エネルギーや食料供給の限界が制約となり、人口爆発は抑制され、ごく緩やかな増加ですんできました。しかし、産業革命を経て、石油という地下に眠っていた資源を開放し、人類は制約を乗り越えることに成功した。天敵を駆除したのと同じ効果をもたらした。カイバブ高原のクロオジカの例を考えると、持続可能な数は1万頭ということになる。なぜ、持続可能な限界を超えて10万まで増えたかといえば、長年かかってカイバブ高原の自然界に蓄積された養分を利用したからという。二十世紀の初めに約15億人だった地球の人口は、1998年には60億人を超し、2050年には、100億人に達すると予想されている。人類は二十世紀を通して自然界に蓄積された石油資源や環境資源というストックを使って人口を増やしてきた。多分、とうの昔に持続可能な人口を大幅に越していると思われる」

現時点の我が国のシカの急増対策は、猟師という天敵と、ジビエ食という高級趣味に委ねている。カイバブの事例から学ぶことは、人が絶滅させた“オオカミ等”捕食者の再導入の検討であろう。近年の研究では、オオカミによる人への傷害事例は極めて稀で、狂犬病か餌付け以外の事例はほとんど記録が無い。オオカミに科せられた冤罪を是非晴らし、再導入で持続可能な社会実現に寄与したいと考える。

5. 核分裂の放射線問題で残されていること

服部本が最も重要視していることは、放射線の“ホルミシス効果”であろう。その証左は、服部が2014年2月かざひの文庫から出した『放射能は怖い』のウソに詳しい。研究者の常として異論もある。しかし、ある範囲の放射線に正の本質があるものの、それが科学以外の理由で認められないとすれば、オオカミ問題と同様、放射線に対する冤罪である。科学や科学者はこのような議論の有る課題の解決に協働して積極的に真理を追究する、それが科学者・研究者倫理ではなからうか？

おわりに

引用過剰の研究発表になってしまった。筆者は原子力・放射性部門の技術士ではないので、技術的な解決策を提案できるまでの知見と高度の応用能力は持ち合わせていない。しかし、問題提起をすることはできる。大下本のウラは、服部本で取れた。一例を示すと前出の北斗電機は、服部と4S炉の特許を持つ“東芝”である。

技術士として公益確保の責務を果たすことが、技術士の知名度を上げる一策であると思う。また継続研鑽の成果にもなる。

今年、日本技術士会の名誉会員に推挙された。環境の保全、公共の福祉等に寄与できる技術者として、今後も好奇心を持ち続けて、生涯現役を貫きたい。以上