

| | | | | |
|-------------------|---|---------|---------------|---------|
| 氏 名 | 岩 崎 智 彦 | | | |
| 授 与 学 位 | 博 士 (工 学) | | | |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 8 年 1 月 10 日 | | | |
| 学 位 授 与 の 根 拠 法 規 | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 | | | |
| 最 終 学 歴 | 昭 和 56 年 3 月 東北大学大学院工学研究科原子核工学専攻前期課程修了 | | | |
| 学 位 論 文 題 目 | 原 子 炉 シ ス テ ム に よ る マ イ ナ ー ア ク チ ニ ド の 高 速 燃 焼 消 滅 処 理 の 研 究 | | | |
| 論 文 審 査 委 員 | 東 北 大 学 教 授 | 平 川 直 弘 | 東 北 大 学 教 授 | 戸 田 三 朗 |
| | 東 北 大 学 教 授 | 中 村 尚 司 | 東 北 大 学 助 教 授 | 馬 場 護 |

論 文 内 容 要 旨

現在、我が国では43基（総出力3495万kW）の原子力発電所が運転され、それらにより我が国で消費される電力の30%以上が賅われている。1993年度における全原子力発電所の設備利用率は73%であり、この値は定期検査を考慮した稼働率にするとほぼ100%に対応することから、我が国の原子力発電技術は非常に高い水準に達していると考えられる。しかし、このように技術開発が進み大きな役割を担っている原子力発電においても今後解決しなければならない課題があり、その一つとして、放射性廃棄物の処理・処分の問題が挙げられている。原子力発電所が稼働して約30年を経過し、発電所数も50基を越えようとする現在において、この問題は先送りの許されない緊急の課題になりつつある。原子力発電を今後とも主たる電源として利用していくためには、この放射性廃棄物の問題を国民の理解の得られる方法により解決することが必要であると考えられる。

原子力発電所の運転に伴い発生する放射性廃棄物には、低レベルおよび高レベル廃棄物の二種類があり、このうち、高レベル廃棄物は、極めて強い放射能ならびに10万年を越える寿命を持つ核種が含まれることから、10万年を越える期間にわたって人類から隔離し続けることが必要とされる。現在、この高レベル廃棄物には、ガラス固化処理・深地層処分が予定されているが、このうち、ガラス固化体により保証される隔離期間は1000年程度とされているため、深い安定な地層内に埋設（深地層処分）することにより、それ以後の隔離を確保することが考えられている。しかし、この深地層処分には長い期間における環境の変化、すなわち地層自身の動きや地層中の地下水の流れの変化など、数多くの不確定要因が存在することが指摘されており、この深地層処分により高レベル廃棄物を、10万年もの長い期間隔離し続けることができるとの科学的な根拠が十分示されていないと考えられる。

これに対し、長寿命放射性核種を安定な核に核変換することによって高レベル廃棄物の放射能や寿命の低下を図る処理法、すなわち「消滅処理法」の基礎研究が現在進められている。消滅処理により、寿命あるいは放射能を十分に下げることができれば、深地層処分に頼らず高レベル廃棄物の処分が可能となる。

本研究では、深地層処分にはいくつかの不確かな要因が存在し、それによる高レベル廃棄物の隔離には十分な科学的な保証が得られていないとの認識のもと、深地層処分を排除できるレベルにまで長寿命核種を減らすことのできる高速燃焼消滅法を得て、実現可能な原子炉により現在の廃棄物問題に有効な消滅システムを提案することを目的として、以下の研究を行った。

第1章は序論であり、上述した本研究の背景を述べると共に、本研究の対象、目的および本論文の構成を示した。

第2章では、まず、低・高レベル放射性廃棄物の現状と、現在予定されている処分法について整理し、高レベル廃棄物の処分に予定されている深地層処分法には、上述したような不確定要因が存在することを指摘した。その後マイナーアクチニドの消滅処理の原理を、長寿命核分裂生成物との比較を行いながら明らかにし、高レベル廃棄物の放射能・毒性を十分低下させ、深地層処分を排除するためには高レベル廃棄物の1000年以後の放射能・毒性を支配するマイナーアクチニドを消滅する必要がある、消滅核反応を引き起こす粒子として中性子が最も有利で現実的であることを示した。

さらに、第2章では、深地層処分を用いず高レベル廃棄物の問題を解決するために必要となるマイナーアクチニド消滅処理の目標について検討を加えた。その結果、高レベル廃棄物中のマイナーアクチニドの放射能・毒性を 10^{-5} 程度（目標消滅率）まで減らすことにより低レベル廃棄物として処分でき、深地層処分を用いず処分することができることを示した。その後、過去のマイナーアクチニド消滅処理についての研究を調査し、過去あるいは現在研究されている消滅炉の消滅率は年間10%程度であることを示し、既存の消滅法では現実的な時間内に 10^{-5} 程度の消滅率を達成できないことを示した。

第3章では、目標消滅率を達成するための新たな消滅法について研究を行った。ここでは、まず重水減速材により実現される極めて軟らかい熱中性子場（軟熱中性子場）と1-100eVに大きな中性子束成分を持ち ^{246}Cm の実効断面積を大きくする中性子場（Cm用中性子場）におけるマイナーアクチニドの燃焼消滅特性について解析した。その結果、それらの場で順次マイナーアクチニドの燃焼を行う2段階消滅法を考えると、 ^{237}Np のような直接消滅の対象となる核は軟熱中性子場で急速に燃焼し、その燃焼後に残る ^{246}Cm はCm用中性子場で軟熱中性子場に比べて400倍速く燃焼することから（5年燃焼時）、 $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ の中性子束で5年間の燃焼により質量を初期の 10^{-5} 、毒性を自然崩壊のものに比して 10^{-6} まで減らすことができることを明らかにした。さらに、現在建設を前提に米国オークリッジ国立研究所にて設計中の超高中性子束炉であるAdvanced Neutron Source (ANS) についての調査から $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ という中性子束レベルはANSにより実現可能なレベルであることを示した。以上から、2段階消滅法は現実的な原子炉と現実的な時間で目標消滅率を達成できる方法であると言え、深地層処分を排除できるレベルにまで長寿命核種を減らす消滅法として、この2段階消滅法を提案した。

その後、第3章では、ここで提案した2段階消滅法に対して、マイナーアクチニド消滅時の中性子発生・消費量を解析し、上述した $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ の中性子束レベルを持つ軟熱中性子場での正味中性子発生数はほぼゼロであることを示し、2段階消滅法は中性子経済的に問題のない消滅法であることを示した。第3章の最後に、マイナーアクチニドの消滅処理の経済性について検討し、国際放射線防護委員会の最新の放射能毒性基準である年摂取限度に基づく、消滅処理によってもたらされる長期的リスクの低減による利益が大きく、消滅処理の経済性は妥当であることを示した。

第4章においては、まず $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ の全中性子束を持つANSに基づいて設計した炉に、2段階消滅法を適用した時のマイナーアクチニド消滅量を解析し、2段階消滅法を適用した時のANS 1基当たりの消滅マイナーアクチニド量は年間26kg程度であることを明らかにした。この量は現行の1175MWe級の加圧水型原子炉1基からのマイナーアクチニド発生量に相当し、単位熱出力当りの消滅量としては既存の消滅炉と同程度であるものの、2段階消滅法を応用したANSベースの消滅炉による消滅は、装荷したマイナーアクチニドをほぼ完全に消滅できるという大きな特徴を持つことを示した。

さらに、第4章において、このANSをベースとした消滅炉を用いた発電システムについて検討し、1175MWe級加圧水型原子炉とこのANSベースの消滅炉を1基づつ組み合わせたシステムを考えると、これはマイナーアクチニドをほとんど発生しない発電システムとなることを示すと共に、消滅炉としてすでに研究されている高速炉型消滅用原子炉とANSベースの消滅炉を組み合わせると、10基の1175MWe級加圧水型原子炉から30年間に生成する8.1tonのマイナーアクチニドを現実的な時間でほぼゼロにまで消滅できることを示した。以上のことから、これらのシステムを、実現可能な原子炉により現在の廃棄物問題に有効で深地層処分を排除できる消滅システムとして提案した。

第5章では、本研究で用いた核データ・計算手法に対する検証を行い、燃焼解析手法、中性子スペクトル計算手法、ANS炉心解析手法の妥当性を確認した。

最後に、第6章で、本研究をまとめ、結論を述べた。本研究では、深地層処分にはいくつかの不確かな要因が存在し、それによる高レベル廃棄物の隔離には十分な科学的な保証が得られていないとの認識のもと、1000年以後の放射能・毒性を支配するマイナーアクチニドの中性子による消滅処理の研究を行い、結果として、深地層処分を排除するために必要となる目標消滅率 (10^{-5}) を達成できる高速燃焼消滅法と、それを応用したマイナーアクチニドをほとんど発生しない発電システムを提案した。本研究によって提案されたマイナーアクチニドの高速燃焼消滅法ならびにそのためのシステムは、国民の理解の得ることが難しいと考えられる深地層処分を用いずに、高レベル廃棄物を処理・処分することが可能であることを示したものであり、これは原子力発電に伴う課題である放射性廃棄物問題の解決と原子力利用に対する国民の理解を広げることにも貢献するものとする。

審査結果の要旨

原子力発電の進展に伴って増大する使用済み核燃料中に生成されている放射性廃棄物の処分が世界的に大きな課題となっている。とくに核燃料の再処理施設において取り出される高レベル廃棄物中のマイナーアクチニド（以下MA）には ^{237}Np に代表される極めて長い半減期を持つ核種が数多く存在するため少なくとも100万年を超える期間にわたって人類から隔離する必要がある、深地層に隔離処分する等の検討が行われてきたが、近年これらのMAを核変換により比較的短寿命の核種に変換し、これによりそれらが持つ放射能を減少させ深地層に処分する等の方法を不要にする消滅処理に関する研究が進められている。ところが、これまでに提案されたシステムは何れも原理的な検討に止まり、現実的な時間内に消滅処理が可能であることを示したものはなかった。本論文はまず深地層処分を不要とするのに必要な放射能低下の目標値を設定し、この目標値が現在開発されつつある先進的原子力技術を適用することにより実現し得ることを示したもので、全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、まず放射性廃棄物の処分法の現状を整理し、深地層処分には多くの不確定要素があることを指摘している。次いでそれに代わる高レベル廃棄物の処理法として新たに研究されている消滅処理法について原理的な面から再検討を加え、深地層処分を不要とするためにはMAの消滅を図ることが不可欠であり、その消滅反応を引き起こす粒子として中性子が最も現実的であることを明らかにしている。そしてMAの消滅処理の目標値について検討し、高レベル廃棄物中のMAの放射能およびその毒性を 10^{-6} まで減らせばMAを低レベル放射性廃棄物として処分できることを述べている。更に、従来より研究されてきた消滅炉の消滅率では現実的な時間内にこの消滅率を達成することが不可能なことを示している。

第3章では目標消滅率を達成するための新たな消滅法について述べている。すなわち、MAをまず重水減速材中に形成される極めて軟らかい熱中性子場で、次いで ^{240}Cm の燃焼に対して最適化するため1~100eVに高い中性子束成分を持つ場において順次燃焼させる2段階消滅法を提案し、例として、 $1.0 \times 10^{16} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の中性子束で5年間の燃焼を行えば 10^{-6} という目標消滅率が達成可能であることを示している。さらにこの中性子束が現在米国において建設を前提に設計が進められている超高中性子束炉により実現可能であることを示している。本方法による消滅処理は現実的で新たなシステムの提案であり、重要な成果である。

第4章では前述の超高中性子束炉の設計に基づく消滅炉（以下ANS）の核設計を行い、この炉に対して2段階消滅法を適用した場合のMA処理量を具体的に検討し、熱出力350MWのANS1基で通常の軽水炉1基が生成する年間26kgのMAをほぼ完全に消滅できることを明らかにしている。さらにANSと通常の発電炉とを組合わせたシステムについても検討し、10基の軽水炉から発生するMA廃棄物を高速炉とANSを組合わせたシステムにより現実的な時間内にほぼ完全に消滅しつくすことができること、及びANSの導入時期について高速炉による燃焼によりMAの蓄積量が少なくなった時点で良いことを明らかにしている。

第5章では本研究に用いた核断面積ライブラリーと計算手法の妥当性について、実験解析および他機関による独立の解析結果と比較し、本手法による結果が良い一致を示すことにより検証している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、原子力発電にとって現在の重要課題の一つである高レベル廃棄物中のMAの処理について、現実的な時間内に消滅処理を行う新しいシステムを提案し、これによりMA廃棄物を発生しない発電システムが構築可能であることを示したもので、原子核工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。