

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	地層処分場の負荷低減を目指した バックエンドシステムの構築
Title(English)	Establishment of Back-End Systems for Load Reduction of Geological Repository
著者(和文)	川合康太
Author(English)	Kota Kawai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10810号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹下 健二,大貫 敏彦,木倉 宏成,相樂 洋,塚原 剛彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10810号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

# 論文要旨

## THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	川合 康太		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	竹下 健二	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	赤塚 洋	

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は「地層処分場の負荷低減を目指したバックエンドシステムの構築(Establishment of Back-End Systems for Load Reduction of Geological Repository)」と題し、7章より構成されている。

第1章「緒論」では、日本の原子力情勢を俯瞰し、わが国の核燃料サイクルの概要が示されている。特にガラス固化体製造工程における、ガラス溶融炉の仮焼層内挙動の解明が急務であると述べている。更に、ガラス固化体は最終的に地層処分されることから、処分場の負荷低減の観点から廃棄物含有率を増加させた高含有ガラス固化体の製造技術および核種分離・核変換技術が将来的に核燃料サイクルに組み込まれると指摘している。こうした現状を踏まえて、本論文では高レベル廃液のガラス固化の成立性を担保しつつ、最終処分場の負荷低減のために必要なバックエンドシステムを提示することを目的としたと述べている。

第2章「高レベル廃液の熱分解挙動の解明」では、ガラス溶融炉の仮焼層内挙動を明らかにするために、模擬高レベル廃液の熱分解挙動を解明している。まず、模擬高レベル廃液（sHLLW）を構成する15種類の主要金属硝酸塩の熱分解挙動を調べ、金属硝酸塩同士の相互作用について検討している。その結果、600°C付近ではRuによりアルカリ金属硝酸塩の熱分解反応が促進され、300°C付近ではランタノイド硝酸塩がNaやZrと複塩を形成し、かつRuにより熱分解反応が促進されることを明らかにしている。9種類の硝酸塩とNa<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>Oを用いれば複雑な高レベル廃液の熱分解挙動が解明できると結論している。

第3章「高レベル廃液/ホウケイ酸ガラス間の相互作用の検討」では、高レベル廃液とホウケイ酸ガラスとの相互作用について検討している。ホウケイ酸ガラス粉末共存下におけるsHLLWの熱分解反応を調べた結果、RuによりNaNO<sub>3</sub>のNaNO<sub>2</sub>への分解が促進され、更にホウケイ酸ガラス中のSiO<sub>2</sub>やB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>によりNaNO<sub>2</sub>のNa<sub>2</sub>Oへの熱分解が促進されることを明らかにしている。これらの現象が600~800°Cの高温域におけるsHLLW/ホウケイ酸ガラス粉末系の熱分解挙動を決定づけていると結論している。また、高レベル廃液に含まれる元素のガラス内拡散現象を調べた結果、500~700°Cのガラス溶融温度以下でNaとCsがガラス内に拡散し、650°Cで1時間保持するとsHLLW中の65%のNaがガラス相内へ拡散することを明らかにしている。Naのガラス相への拡散によってガラス表面の物性を著しく変化し、ガラス表面が多孔質化（脆化）すると述べている。

第4章「多様な燃料サイクルシナリオにおける高レベル廃棄物の性質検討と地層処分影響の検討」では、廃棄体専有面積を決定づける発熱量に着目し、ガラス固化プロセスに至るまでの燃料サイクル諸条件（燃料型、燃焼度、使用済燃料冷却期間、核種分離割合、ガラス固化体の廃棄物含有率）がガラス固化体の性質に及ぼす影響を調べ、処分場の設計に及ぼす影響を評価している。特に冷却期間長期化、核種分離およびガラス固化体の廃棄物含有率が処分場の設計に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。更に処分面積削減の有効性を評価する廃棄体専有面積削減効果指標（CAERA指標；Comprehensive Analysis of Effects on Reduction of disposal Area）を提案し、CAERA指標と緩衝材温度の関係から、バックエンドシステムの構築に必要な燃料サイクル諸条件を明らかにしている。

第5章「核種分離プロセス導入による高レベル廃液熱分解挙動への影響」では、処分場の成立性を担保したバックエンドシステム条件として、使用済燃料冷却期間4年、Cs/Sr分離割合90%、Mo/PGM分離割合70%、ガラス固化体への廃棄物含有率35wt%を想定し、この条件で発生する高レベル廃液がガラス固化プロセスに与える影響を検討している。NaNO<sub>3</sub>の濃度、ガラス存在比、模擬廃液乾固体とガラスとの接触面積との違い等により、従来の高レベル廃液と多少異なる熱分解挙動を示したが、熱分解反応終了温度に影響がないことを明らかにしている。更にMo/PGM分離が70%以下であればRuによるNaNO<sub>3</sub>の熱分解反応促進効果が得られることから、高含有ガラス固化体を製造してもガラス固化プロセスに大きな影響はないと結論している。

第6章「ガラス固化プロセスおよび地層処分概念の成立性を基にしたバックエンドシステムの構築」では、現行のガラス固化システムを用いて処分場面積削減が可能なバックエンドシステムを2ケース例示している。使用済燃料冷却期間を4年とした場合、Cs/Sr分離90%、Mo/PGM分離70%、ガラス固化体への廃棄物含有率35wt%の条件で廃棄体専有面積を57%削減でき、使用済燃料冷却期間を20年とした場合、Cs/Sr分離70%、Mo/PGM分離60%、ガラス固化体の廃棄物含有率30wt%の条件で廃棄体専有面積を9%削減できると評価しており、本論文の目的が達成できたと結論している。

第7章「結言」では、本論文の結論と今後の研究課題についてまとめている。これを要するに、本論文は高レベル廃液のガラス固化の成立性を担保しながら、地層処分場の負荷低減を可能とするバックエンドシステム概念を構築したものである。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	川合 康太		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	竹下 健二	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	赤塚 洋	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The back-end systems for load reduction of geological repository while securing the feasibility of vitrification of high-level liquid waste have been studied. At first, vitrification process was discussed. The thermal decomposition behavior of high-level liquid waste was investigated in order to clarify the behavior of cold-cap floating on top of the molten glass pool in glass melter, which plays an important role for operation of the vitrification process. The reaction rates of the thermal decomposition reaction of 15 kinds of nitrates, which are main constituents of simulated high-level liquid waste, were investigated, and interactions among their metal nitrates were discussed. As a result, it found that ruthenium promotes the thermal decomposition of alkali metal nitrates and complex of nitrates of lanthanoid series and sodium or zirconium. Then, interactions between high-level liquid waste and borosilicate glass were clarified. Especially,  $\text{SiO}_2$  or  $\text{B}_2\text{O}_3$  contained in borosilicate glass promotes the thermal decomposition of  $\text{NaNO}_2$  to  $\text{Na}_2\text{O}$ . Next, geological disposal of vitrified waste was discussed. The effects of fuel cycle parameters such as fuel type, burn-up, cooling period of spent fuel, nuclides separation ratio, waste loading of vitrified waste on geological disposal were evaluated and CAERA (Comprehensive Analysis of Effects on Reduction of disposal Area) index was introduced to evaluate its effectiveness for disposal area reduction. From the relationship between CAERA index and buffer temperature, fuel cycle parameters required for the establishment of back-end systems to reduce the load of geological repository was clarified. Then, the effects of new high-level liquid waste arising from the back-end systems to reduce the disposal area on vitrification process was discussed, and it concluded there are no significant impacts compared to current vitrification process. Therefore, this study established the concept of back-end systems which enable to reduce the load of geological repository while securing the feasibility of vitrification.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).