



# 目次

|   |    |
|---|----|
| まえがき                                      | 1  |
| 「熔融塩増殖炉研究専門委員会」委員名簿                       | 3  |
| 目次  | 5  |
| 表一覧表                                      | 12 |
| 図一覧表                                      | 16 |
| <br>                                      |    |
| 第Ⅰ章 序 説                                   | 1  |
| (引用文献)                                    | 4  |
| <br>                                      |    |
| 第Ⅱ章 熔融塩炉の技術基盤と開発の経過                       | 5  |
| Ⅱ-1 液体核燃料概念について                           | 5  |
| A. 核燃料の分類                                 | 5  |
| B. 液体燃料の長所と短所                             | 6  |
| C. 液体燃料動力炉の開発                             | 8  |
| Ⅱ-2 熔融塩燃料原子炉の技術基盤                         | 10 |
| A. 熔融塩技術と液体金属技術                           | 10 |
| B. 熱中性子増殖炉の可能性 (Th- <sup>233</sup> U 増殖炉) | 12 |
| Ⅱ-3 航空機原子力推進計画 (ANP program) と実験炉 ARE     | 16 |
| Ⅱ-4 初期における熔融塩炉の設計研究と開発計画 (MSRP) の成立       | 23 |
| A. 初期における一領域熔融塩炉の設計研究                     | 23 |
| B. 初期における二領域熔融塩炉の設計研究                     | 24 |
| C. 熔融塩炉開発計画 (MSRP) の成立                    | 24 |
| Ⅱ-5 実験炉 MSRE 計画                           | 28 |
| A. MSRE の概要                               | 28 |
| B. MSRE の建設と運転                            | 31 |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| C.    | MSREの成果                      | 34 |
| II-6  | 熔融塩増殖炉開発計画の進展と実用炉MSBRの設計     | 42 |
|       | (引用文献)                       | 47 |
| 第III章 | 熔融塩増殖炉の燃料材料                  | 51 |
| III-1 | 燃料塩の選択について                   | 51 |
| III-2 | 燃料塩の物理化学                     | 55 |
| A.    | 構成化合物の物性                     | 55 |
| B.    | 燃料塩の物性                       | 56 |
| C.    | 燃料塩の熱化学                      | 59 |
| III-3 | 核分裂生成物(FP)の化学的挙動             | 63 |
| A.    | FP挙動研究の重要性                   | 63 |
| B.    | FPの分類                        | 64 |
| C.    | 親塩核種の挙動                      | 69 |
| D.    | ノーブルメタル核種の挙動                 | 71 |
| E.    | 本節のまとめ                       | 74 |
| III-4 | 冷却材塩                         | 76 |
| A.    | 冷却材塩の選択                      | 76 |
| B.    | 硼フッ化ナトリウム塩の特性                | 79 |
| III-5 | 構造材料                         | 82 |
| A.    | Hastelloy Nの開発               | 82 |
| B.    | 改良型Hastelloy Nおよびその他の合金の問題点  | 83 |
| B.1   | 提案された改良型Hastelloy Nの組成       | 84 |
| B.2   | 改良型Hastelloy Nの溶解・加工および機械的性質 | 86 |
| B.3   | 燃料塩による腐蝕                     | 86 |
| B.4   | 冷却材塩による腐蝕                    | 88 |
| B.5   | 水蒸気による腐蝕                     | 89 |
| B.6   | 照射脆化                         | 92 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| B.7     | Te との共存性 .....                             | 92  |
| B.8     | 燃料塩を用いる炉内実験 .....                          | 93  |
| C.      | 本節のまとめ .....                               | 94  |
| III - 6 | 減速用黒鉛材料 .....                              | 98  |
| A.      | 必要とされる特性 .....                             | 98  |
| B.      | 開発状況と今後の問題点 .....                          | 99  |
| III - 7 | その他 .....                                  | 102 |
|         | (引用文献) .....                               | 103 |
| 第IV章    | 实用熔融塩増殖炉MSBRの概要 .....                      | 105 |
| IV - 1  | 炉の構成 .....                                 | 105 |
| IV - 2  | 炉心設計 .....                                 | 108 |
| A.      | 二流体炉と一流体炉 .....                            | 108 |
| B.      | 一流体による実質二領域炉の実現 .....                      | 110 |
| C.      | 黒鉛減速材要素 .....                              | 112 |
| D.      | 炉容器内の配置 .....                              | 114 |
| E.      | 炉容器および冷却系等の設計 .....                        | 116 |
| F.      | その他の炉工学的研究 .....                           | 118 |
| IV - 3  | 炉物理と核燃料サイクル .....                          | 121 |
| A.      | 炉物理 .....                                  | 121 |
| B.      | <sup>233</sup> U 生産型転換炉MSCRの燃料サイクル .....   | 124 |
| C.      | 増殖炉MSBRの燃料サイクル .....                       | 130 |
| D.      | <sup>233</sup> U リサイクル型の高転換炉MSCR(Re) ..... | 133 |
| IV - 4  | 炉の動特性・制御・計画 .....                          | 134 |
| A.      | 動特性・制御に対する基本的考察 .....                      | 134 |
| B.      | 計装系に対する基本的考察 .....                         | 135 |
| IV - 5  | 冷却・発電系および補助系の構成 .....                      | 138 |
| A.      | 二次冷却系および発電系 .....                          | 138 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| B.   | 燃料塩ドレイン系 .....        | 140 |
| C.   | オフガス系 .....           | 142 |
| D.   | その他の補助系 .....         | 142 |
| IV-6 | 主要な機器および計測器について ..... | 145 |
| A.   | 一次熱交換器 .....          | 145 |
| B.   | 水蒸気発生器 .....          | 146 |
| C.   | 熔融塩循環ポンプ .....        | 149 |
| D.   | 配管・バルブ等 .....         | 150 |
| E.   | 制御棒と駆動機構 .....        | 154 |
| F.   | ドレインタンク .....         | 154 |
| G.   | 気泡発生器とガス分離器 .....     | 156 |
| H.   | 計測器その他 .....          | 158 |
| IV-7 | 建設・運転・保守 .....        | 159 |
| A.   | 原子炉建屋の構造と建設 .....     | 159 |
| B.   | 運 転 .....             | 162 |
| C.   | 保守・修理 .....           | 162 |
| IV-8 | 経済性について .....         | 168 |
| A.   | 核燃料の必要性 .....         | 168 |
| B.   | 転換比 .....             | 169 |
| C.   | 核燃料の燃焼度 .....         | 169 |
| D.   | プラントの効率 .....         | 169 |
| E.   | 燃料サイクルコスト .....       | 170 |
| F.   | 発電コスト .....           | 170 |
|      | (引用文献) .....          | 171 |

## 第V章 熔融塩増殖炉の燃料塩再処理 .....

|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| V-1 | 燃料再処理の目的 ..... | 173 |
| V-2 | 稀ガスFPの除去 ..... | 177 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| V-3 | MSBR 燃料処理の概念的フローシート  | 177 |
| V-4 | 溶融塩と液体 Bi との間の金属元素分配 | 181 |
| V-5 | 稀土類の分離について           | 186 |
| V-6 | プロセス開発の状況および問題点      | 187 |
|     | (引用文献)               | 191 |

## 第 VI 章 溶融塩増殖炉の安全性評価 193

|      |                                    |     |
|------|------------------------------------|-----|
| VI-1 | 全般的考察                              | 193 |
| VI-2 | MSBR の炉特性と安全性                      | 194 |
|      | A. 定常運転時の環境への影響                    | 194 |
|      | B. 核的安全性                           | 195 |
|      | C. 放射性核種の崩壊熱                       | 205 |
| VI-3 | 工学的安全性                             | 206 |
|      | A. 材料と溶融塩の化学反応                     | 206 |
|      | B. 塩の取扱い — 凝固対策                    | 208 |
|      | C. 塩の漏洩事故と対策                       | 208 |
| VI-4 | 立地に対する考察                           | 211 |
|      | A. 建設および運転中の輸送・物質の流れ・放射性廃棄物        | 211 |
|      | B. 放射性核種の保有量                       | 214 |
|      | C. 設計基準の事故 (Design-Basis Accident) | 214 |
|      | D. 解体                              | 214 |
| VI-5 | トリチウムの管理                           | 215 |
|      | A. 問題の概要                           | 215 |
|      | B. 実験炉 MSRE の経験                    | 216 |
|      | C. MSBR におけるトリチウム生成と分布             | 218 |
|      | D. トリチウムの漏洩防止                      | 218 |
|      | E. トリチウムの貯蔵                        | 221 |
| VI-6 | 総合評価                               | 221 |

|  |     |
|--|-----|
| (引用文献)                                   | 223 |
| 第Ⅶ章 研究開発計画およびその応用                        | 225 |
| Ⅶ-1 米国における開発計画                           | 225 |
| A. ORNLによる開発                             | 225 |
| B. Molten Salt Group(MSG)による開発           | 228 |
| C. MSGによる計画の予定表と予算                       | 244 |
| Ⅶ-2 諸外国の動向                               | 248 |
| A. フランスにおける開発                            | 248 |
| B. スイスにおける開発                             | 249 |
| C. オランダにおける開発                            | 249 |
| D. 印度における開発                              | 249 |
| E. ブラジルにおける開発                            | 249 |
| Ⅶ-3 国内における研究状況                           | 250 |
| Ⅶ-4 核融合炉開発その他への応用                        | 252 |
| A. DT核融合炉ブランケット                          | 252 |
| B. 核融合・分裂複合炉(Hybrid Reactors)におけるMSBRの利用 | 256 |
| C. トリチウム生産炉としての利用                        | 256 |
| Ⅶ-5 その他の原子力技術への応用                        | 257 |
| A. フッ化物溶融塩技術の応用                          | 257 |
| B. アクチノイド消滅用溶融塩高速炉                       | 258 |
| C. 溶融塩技術一般との関連                           | 260 |
| D. 融体工学技術一般との関連(LMFBRとの関連)               | 260 |
| Ⅶ-6 MSBRに必要な資源                           | 261 |
| (引用文献)                                   | 263 |

|   |     |
|---|-----|
| 第Ⅷ章 総括 .....                                | 269 |
| むすび .....                                   | 275 |
| 〔付録Ⅰ〕 主要用語略号一覧表 .....                       | 277 |
| 〔付録Ⅱ〕 総合報告・主要文献リスト .....                    | 283 |
| 〔付録Ⅲ〕 1000 MWe〔百万KW〕MSBR 発電所の主要データ一覧表 ..... | 292 |
| (補遺表) .....                                 | 306 |
| (編集後記) .....                                | 308 |