

第40回原子力総合シンポジウム・プログラム
2002 National Symposium on Atomic Energy, Tokyo, Japan

主調テーマ 「豊かな未来と原子力」

日時 2002年5月21日(火)～22日(水) 10:00～17:00
会場 千代田区立内幸町ホール (東京都千代田区内幸町1-5-1)

開催趣旨 原子力関連学協会共同主催により、21世紀を迎えてますます重要になりつつある地球環境の維持・保全を考えたエネルギーの安定供給のあり方について、学界―産業界の各専門分野の研究者―技術者間の情報の交換・普及を図ると共に、単に専門家のみならず、一般の人々をも対象にして、エネルギー問題の現状と将来の展望を考え、人類と地球環境が直面している問題点を明らかにし、共通の理解を深めるため、本シンポジウムを開催する。

時間表

	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
21日	開会	特別講演1, 2, 3	昼 休	1. 放射性廃棄物の 処理処分の前進 に向けて	2. SPring8高輝度放 射光源のひらく 未来			
22日	3. JCO事故から学んだこと	昼 休	4. 豊かな社会の実現に向 けた原子力技術の応用	5. 原子力への国民 世論と立地の意 識―NYMBYのかな たに				

5月21日(火) 午前の部 (敬称略)
(後日一部変更する場合があります)

開会の辞 10:00～
挨拶

運営委員長 岡 芳明
日本原子力学会会長 住田健二

司会：成合英樹(筑波大学)

特別講演1. 「地球環境問題と原子力」

(10:15～11:00)

東京農工大学 柏木孝夫(1)

特別講演2. 「リスク管理と社会心理学」

(11:00～11:45)

東洋英和女学院大学 岡本浩一(15)

特別講演3. 「ITER―核融合燃焼プラズマとエネルギーの生成に向けて―」

(11:45～12:30)

日本原子力研究所 松田慎三郎(17)

―― 昼 休 (12:30～13:30) ―――

5月21日(火) 午後の部

1. 「放射性廃棄物の処理処分の前進に向けて」 (13:30~15:10)

司会：鈴木光雄(日本原燃(株))

- | | | |
|-----------------------------------|------------|-----------|
| (1) 高レベル放射性廃棄物地層処分の現状と課題 | 富士常葉大学 | 徳山 明(21) |
| (2) 東海発電所の廃止措置 | 日本原子力発電(株) | 油井宏平(29) |
| (3) 放射性廃棄物処分に係る安全基準の国際動向と我が国の検討課題 | 東京大学 | 小佐古敏荘(36) |

2. 「SPRING8高輝度放射光源のひらく未来」 (15:25~17:00)

司会：今崎一夫((財)レーザー技術総合研究所)

- | | | |
|----------------------------|-----------------|----------|
| (1) 高輝度放射光施設SPRING-8の現状と成果 | (財)高輝度光科学研究センター | 大野英雄(37) |
| (2) 高輝度放射光の物質・材料研究への応用 | 日本原子力研究所 | 下村 理(47) |
| (3) 高輝度放射光源の未来 | 理化学研究所 | 北村英男(53) |

5月22日(水) 午前の部

3. 「JCO事故から学んだこと」 (10:00~12:00)

司会：木村逸郎((株)原子力安全システム研究所)

- | | | |
|--------------------|--------------------|----------|
| (1) 原子力産業の安全を考える | 中央大学 | 久米 均(55) |
| (2) JCO事故のその後の状況 | 大阪大学名誉教授・日本原子力学会会長 | 住田健二(61) |
| (3) 全国緊急被ばく医療体制の構築 | (財)原子力安全研究協会 | 青木芳朗(65) |
| (4) 人的要素からみた事故の特性 | 東京大学 | 古田一雄(67) |
| (5) 周辺防災とJCO事故 | (財)高度情報科学技術研究機構 | 能澤正雄(71) |

昼 休 (12:00~13:00)

5月22日(水) 午後の部

4. 「豊かな社会の実現に向けた原子力技術の応用」 (13:00~15:10)

司会：宮本俊樹((株)東芝)

- | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|
| (1) 高度技術社会における安全問題の社会科学的側面 | 明治学院大学 | 竹内 啓(75) |
| (2) 豊かな未来への原子力技術の貢献 | | |
| 1) 原子力分野におけるリスク管理と危機管理—不確実性に備えるアプローチ | 東京大学 | 近藤駿介(81) |
| 2) 日本の環境問題における放射線生態学の果たす役割—過去から未来へ | 原子力安全委員会 | 松原純子(86) |

5. 「原子力への国民世論と立地の意識—NYMBYのあなたに」 (15:25~17:00)

司会：森田 朗(東京大学)

- | | | |
|---|------------|----------|
| (1) 原子力を見つめる国民の目 | 毎日新聞論説委員 | 横山裕道(95) |
| (2) 原子力発電所との共存共栄 | 牧賀市長 | 河瀬一治(97) |
| (3) 原子力利用に関する市民とのコミュニケーションで検討が必要な課題への私見 | 消費生活アドバイザー | 碧海酉葵(99) |

(参考)

(関連資料抜粋)

第40回 原子力総合シンポジウム 予稿集

2002 National Symposium on Atomic Energy, Tokyo, Japan

豊かな未来と原子力

と き 2002年5月21日(火)～22日(水)

ところ 千代田区立内幸町ホール

東京都千代田区内幸町1-5-1

共 同 主 催

エネルギー・資源学会
財団法人火力原子力発電技術協会
財団法人原子力安全研究協会
財団法人電気学会
財団法人日本医学放射線学会
財団法人日本機械学会
財団法人日本原子力学会
日本混相流学会
財団法人日本セラミックス協会
日本地質学会
日本複合材料学会
日本放射線影響学会
財団法人日本溶接協会
財団法人プラズマ・核融合学会

財団法人応用物理学会
財団法人空気調和・衛生工学会
財団法人資源・素材学会
財団法人土木学会
財団法人日本化学会
財団法人日本金属学会
財団法人日本建築学会
財団法人日本産業衛生学会
財団法人日本造船学会
財団法人日本電気協会
財団法人日本分析化学会
財団法人日本放射線技術学会
財団法人日本流体力学会
財団法人溶接学会

財団法人化学工学会
財団法人計測自動制御学会
財団法人電気化学会
財団法人日本アイソトープ協会
日本核医学会
財団法人日本空気清浄協会
財団法人日本高圧力技術協会
日本シミュレーション学会
日本地球化学会
財団法人日本非破壊検査協会
日本放射化学会
日本保健物理学会
財団法人粉体粉末冶金協会
財団法人レーザー学会

後 援 機 関

原子力委員会
日本原子力研究所
財団法人日本原子力文化振興財団

原子力安全委員会
核燃料サイクル開発機構

日本学術会議
財団法人日本原子力産業会議

地球環境問題と原子力

東京農工大学大学院

教授 柏木孝夫

§1. 環境制約に対する国際的認知と議定書批准の重さ

§2. 原子力に対する IPCC の見解

§3. 我国のエネルギー政策と 4 つのハードル

§4. 我国に適した電力自由化のスキムと原子力問題

§5. 原子力とマイクロパワーの合理的電力ネットワークの
構築による都市と経済の再生

参考資料

- ① IPCC. 第 2 次報告書 LESS シナリオ. 1995
IPCC. 第 3 次報告書 WG3. 第 3 章. 原子力に対する記述. 2001
- ② 2000 年度エネルギー需給実績(速報)について、
資源エネルギー庁. 2002 年 1 月 31 日
- ③ ネットワーク社会とは
省エネルギー, Vol.53, No.13, 2001, 17P
- ④ 21 世紀のエネルギー論
再生と利用, Vol.25, No.94, 2002, 1 月 18P

MEMO

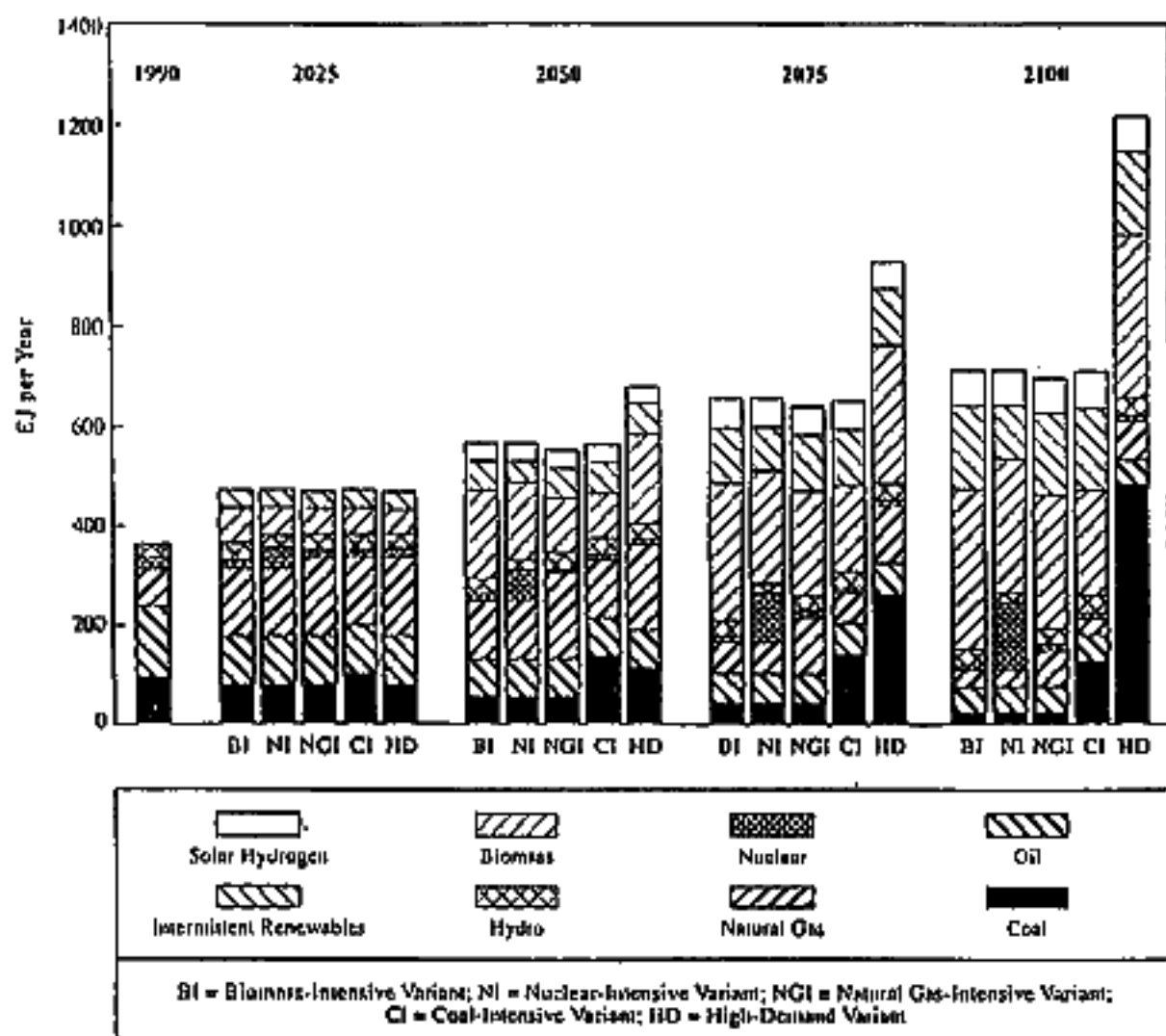


Figure 19-8: Global primary energy use for alternative LEIS constructions.

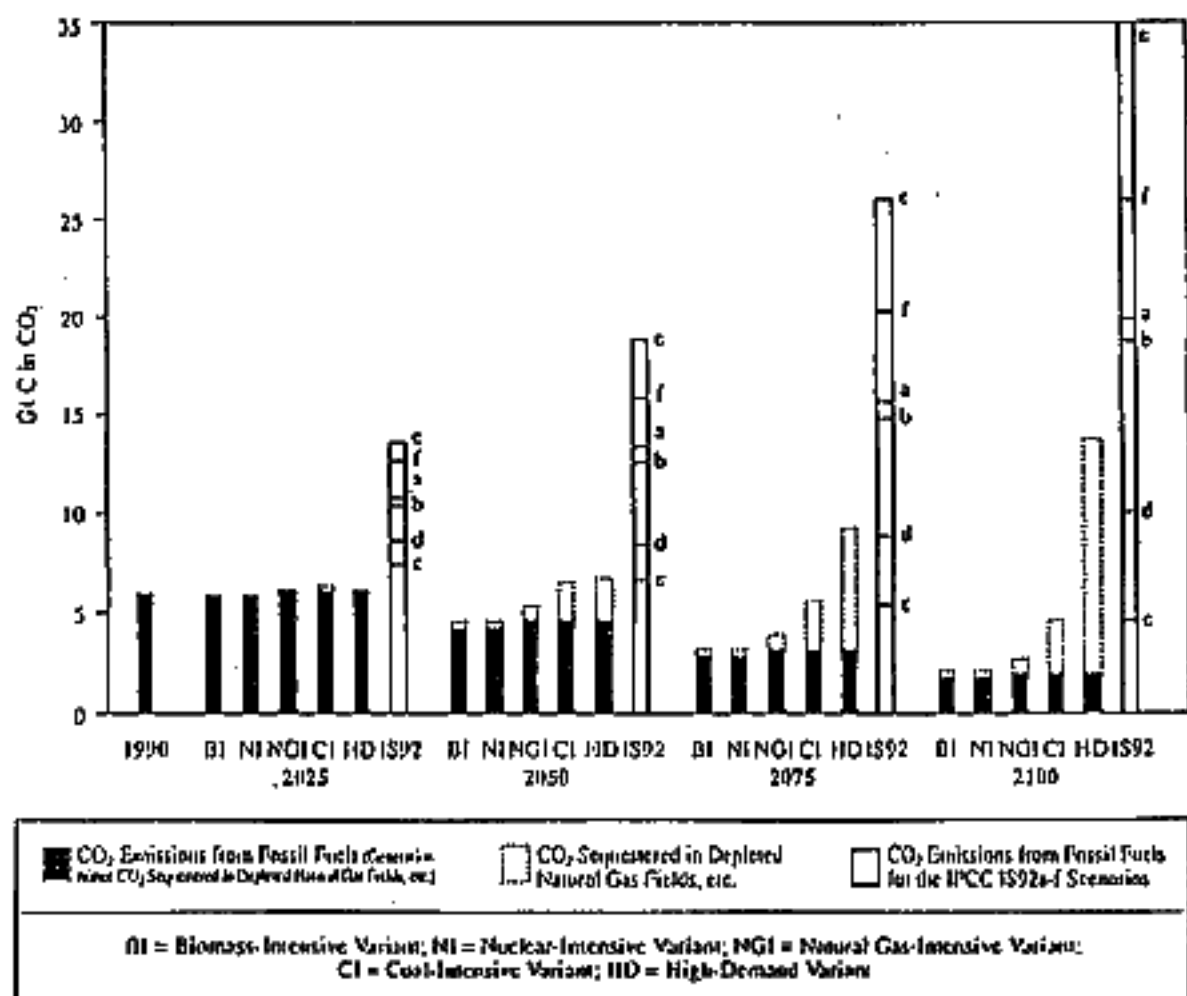


Figure 19-9: Annual CO₂ emissions from fossil fuels for alternative LEIS constructions, with comparisons to the IPCC IS92a-f scenarios.

3.8.4 New technological options

3.8.4.1 Fossil fueled electricity generation

- ・微粉炭燃焼の発電効率は世界平均 30%程度。高いのは 40%以上だがコストが高い。最近では超臨界ボイラで 45%、更に 48.6%も達成されている。将来は 55%が可能。
- ・天然ガスの CCGT（ガスタービンと蒸気タービンの複合サイクル）は効率 60%、将来は 70%の可能性はある。ガスのあるところでは好まれる。
- ・石炭やピッチューメンを液化して使った IGCC（液化燃料の複合サイクル）は効率 50-55%が見込まれているがまだ開発中。IGCC は CO₂ を分離できるのも利点。
- ・熱電併給（CHP）は効率が 90%にも達するのでよい GHG 緩和策である。電力規制緩和などによって CHP がやりやすくなった。途上国ではバイオ燃料の CHP も有望。
- ・燃料電池には各種あり、PEM（陽子交換膜型）は効率 55-60%が期待され、これを使った自動車の量産化が日程に上っている。磷酸型（作動温度 200℃）は市場化が最も進み、東京電力の 11MW 発電機の効率は 36-38%である。熔融炭酸塩型（650℃）は効率 65%の可能性はある。固体酸化物型（1000℃）は CCGT との組み合わせにより 72-74%の効率が予測されている。

3.8.4.2 Nuclear power

- ・世界の全発電の 16%（1999）を占めている原子力はライフサイクル GHG が化石燃料発電より 2 桁ほど小さい。コストはガス供給施設のある国では CCGT より高いが、長距離輸送の石炭を使う火力より安い。放射性廃棄物の深層地下貯蔵を行っている国はない。使用済み燃料の再処理・再利用で廃棄物量を減らす可能性があるが、再処理は核拡散の恐れがある。高放射性廃棄物は世界で集中して管理する方法がある。仏独スイスベルギーではプルトニウムを減らすために MOX として再利用し、日本でも推進している。
- ・原子力発電の安全性は技術的には高い水準に達しているが、コストが高い。廃棄物も技術的には 100 万年安全に貯蔵できる。核拡散は政治的に大問題だが技術的に解決可能。しかし現在の設計の改良で全ての問題を解決することはできない。軽水炉、加圧水炉も改良されている。南米 ESKOM の Pebble Bed Modular Reactor は低コストで革新的。
- ・原子力は条件のよい国では GHG 緩和コストはゼロである。世界の現在のエネルギー構成によると、原子力による炭素削減は年 66MtC である。

3.8.4.3 Renewable energy conversion technologies

- ・再生可能エネルギーは土地、インフラの条件によって種類も経済も異なるので一般的にいうのは難しい。
- ・水力は米国では 76%、欧州では 65%が開発済みで社会的・環境的な制約がある。途上国での可能性はまだ十分評価できていない。環境負担の小さい小規模水力は世界的に拡大しつつある。大規模水力は環境コスト、住民移動などの社会的コストが高い。遠隔地での発電は送電費用がかかるので、都市に近い中小規模水力が伸びるだろう。
- ・持続可能な植物性エネルギー源の量は年 270EJ ほど。農林業残渣発電は経済的にも可能で米加豪北欧で実施中。植物燃料の精製工場の立地条件、輸送方法と規模効率の兼合いが必要。デンマークでは電力の 40%がバイオマスのコジェネによる。
- ・エネルギー用作物が増えると食糧用農地との土地の競合が起る可能性もある。
- ・途上国の植物燃料割合は中国 30%、インド 45%、アジア・アフリカには 90%以上の国もある。村落で植物燃料利用の効率化が進みつつある。
- ・植物燃料は最も低コストな炭素排出削減手段である。石炭との混合燃焼、植物ガス化複合サイクル（BIGCC）、リグノセルロースの加水分解によるエタノール製造が最も有望な技術。
- ・植物からのエタノールなど液体燃料製造はブラジルや米国で商業化している。木材からのエタノール製造は有望。植物からのディーゼル燃料はまだコストが高い。
- ・風力発電が増加中。風力発電の潜在総量は理論的には 48 万 TWh/年、実用的には 2-5 万

TWh/年と見積もられている。2020 年には世界で 1200GW、電力総需要の 10%を供給するという予測もある。将来は 2MW 以上の海上風力発電が多くなる。デンマークは 2030 年には電力の 40-50%を風力にする計画。中国やインドも力をいれている。風力発電は経済的にも競争力があるが、発電が間欠的なため補償電源を持つと高くなる。

- 太陽エネルギーに使える土地で 1575~49837EJ/y が可能で、最低でも現在の世界のエネルギー消費の 4 倍に相当する。しかし実際には変動と低エネルギー密度のため市場可能性は低い。
- 太陽電池のコストは高いが、隙間需要や使用場所での発電には競争力がある。2005 年には 1000MW と予想されるが風力やバイオに比べて非常に僅か。実用的な太陽電池の効率は単結晶で 13-17%、多結晶で 12-14%、将来のコストは \$0.05/kWh くらいの予測がある。薄膜電池は効率は 6-8%と低いコストが安い。しかし実験では 16-18%の効率も得ている。
- 太陽熱は欧州で 100 万 m² の集熱器が設置されているが、コストは \$0.18~0.20/kWh と高い。
- 地熱発電は 20 カ国で 7873MW (1998) で世界の発電量 (95 年) の 0.3%。熱としては更に 8700MW が利用されている。近い将来インドネシアなど途上国で 10 倍の伸びが予想される。
- 海洋エネルギーは見積もりが難しい。開発されてはいるが経済的・環境的な問題もある。

3.8.4.4 Technical CO₂ removal and sequestration

- CO₂ の分離と貯蔵は GHG 削減な重要な手段として理解されるようになって来た。
- ガスから CO₂ を分離する方法は食品工業などで実用化されている。燃焼前の石炭や石油を酸素で CO と H₂ に変えた後 CO₂ に転換する方法では、燃焼ガスの CO₂ が多いので分離も容易である。燃焼に空気ではなく酸素を用いれば燃焼ガス中の CO₂ が濃く、分離が容易。
- 発電所での CO₂ 分離により、発電コストは 50%ほど高くなる。
- CO₂ は圧縮して輸送し、深海や地下に貯蔵する。涸渇した油田や気田への貯蔵のほか、炭層メタンとの置換えや、油田の採掘率向上に使うのはよい方法である。
- CO₂ 貯蔵が排出量取引や削減目標の達成手段に用いられる場合は貯蔵量の検定が必要だが、技術的に可能である。

3.8.4.5 Emissions from production, transport, conversion and distribution

- 石炭採掘の際に放出されていたメタンは回収により放出を 50%減らすことができる。
- 古いパイプラインからの漏れなど、天然ガス施設からのメタン漏れの 45%は対策可能で \$50 億が節約できる。
- 油田から出るメタンは以前には大気放出されていたが、燃焼や油田への再注入で放出の 98%が削減できる。

3.8.5 Regional differences

- 多くの国で進行している規制緩和や電力産業の民営化は、コストの安い高効率の小規模発電や、風力やバイオマス発電、分散型発電にも有利になっている。
- 途上国でも CCGT (複合サイクル) の導入が天然ガス施設の建設を促進し、天然ガス市場を広げる役割をしている。
- 途上国では効率が悪くても建設費が安い方を好む。エネルギー価格の安さも効率向上を妨げる。インドの石炭火力の平均発電効率は 30-35%である。
- CCGT、原発、きれいな石炭燃焼、再生エネルギーなどの技術移転は有効だが、資金だけでなく人的能力の不足が障害となっている。
- 途上国では地方に配電網を伸ばせばより効率のよい電力を使うことができる。
- 分散発電は電力需要地の近くで行う小規模発電で、ディーゼル、天然ガスエンジン、小規模なタービン、燃料電池、再生可能エネルギーなどによる。欧州の "Campaign for Take-off" は 100 箇所の共同体、100%再生エネルギー、配電網からの独立を目標としている。

3.8.6 Technological and economic potential

- 発電のコストは国、立地、方式などの条件で大きく異なるので一般化は困難。
- GHG 削減量はリードタイムにより 2010 年までより 2020 年までの方が大きい。
- 各種の技術の中では、社会的な合意があれば、原子力の CO₂ 削減能力が最大。石炭から天然ガスへの転換は CO₂ 貯蔵と同様貢献度が大。再生可能エネルギーも寄与が大きい。太陽エ

エネルギーは限度がある。

- ・石炭、石油、天然ガスの三種の化石燃料発電からの GHG 排出削減量は、種々な条件を勘案して、2010 年までに 50-150MtC、2020 年までに 350-700MtC と推定できる。
- ・石炭の IGCC のコストは、市場が一定の大きさになれば、微粉炭燃焼と同等。CCGT は今の天然ガス価格なら石炭より安価で CO₂ も半分。CO₂ 回収貯蔵は 1.5c/kWh (ガス) ~3c/kWh (石炭) で、CO₂ は 80%削減できる。
- ・風力は風の強いところなら石炭やガス火力と競合できる。森林残渣が安い場所ではバイオ発電も GHG 削減に貢献できる。しかし風力と植物燃料の可能なエネルギー総量は不明である。太陽電池は高価だが隙間市場や配電網外では有望。

3.8.7 Conclusions

- ・GHG の排出削減、CO₂ の回収貯蔵、エネルギー部門から排出されるメタンおよび他の GHG の削減にはさまざまな手段があり、SAR の結論を補強する結果になった。

3.9 Summary and conclusions

- ・全体的に見て、技術開発による世界の GHG 排出削減可能量は 2010 年までに 1900-2600MtC/年、2020 年までに 3600-5050MtC/年で、SRES の B2 シナリオを基準にするとそれぞれ 14-23%、23-40%となる。同じ比率を他のシナリオにも当てはめれば、世界の GHG 年間排出量は 2010 年には 2000 年水準またはそれ以下に、2020 年までには 2000 年以下にすることができ。ただし技術的、経済的な可能性の予測には、国や地域による条件の相違や仮定の相違により異なるという制限がある。
- ・地域や技術にもよるが、種々な手段のうち半分は正味負のコストで、他の多くの手段は 100\$/tC 以下のコストで得られる。
- ・低排出技術が普及してもエネルギー需要の増加により総排出量は増加する。
- ・建築、交通、産業部門では種々な GHG 削減技術によって半減できる。物質使用量の削減は長期的にはますます重要になる。
- ・エネルギー部門は将来も化石燃料が主体だが。石炭からガスへの転換、効率向上、コジェネの普及、CO₂ 固定等によって GHG が削減される。原子力、農林業残渣やエネルギー作物、風力、水力は有力である。太陽エネルギーはコストが高いのでこれらより可能性が小さい。
- ・N₂O およびフッ化物系では、おもな技術改善は既に行われた。発砲断熱材や半導体製造工程、アルミ製造の副産物からの排出はまだ削減の可能性がある。エネルギー効率向上によるフッ化物排出削減は直接排出削減と同等な可能性がある。
- ・人工的 GHG 排出の 20%を占めている農業部門は技術的手段も多いが、ばらつきが大きいので削減量の推定は難しい。



ITER - 核融合燃焼プラズマとエネルギーの生成に向けて -

ITER - Toward Extraction of Fusion Energy by Significant Burning Plasma

日本原子力研究所 那珂研究所
Japan Atomic Energy Research Institute,
Naka Fusion Research Establishment

松田 慎三郎
MATSUDA SHINZABURO

講演要旨

1. はじめに

- ・平成13年7月に9年間に渡るITERの工学設計活動が完了し、ITER建設の準備が整った。平成13年11月からは建設等に係る公式政府間協議が開始されている。
- ・核融合の研究開発はITERによる本格的な核融合燃焼の実証と、核融合発電の基礎となる炉工学技術の総合的な実証を行う段階へ進もうとしている。
- ・本講演では、これまでの核融合研究の進展を総括した上で、ITERの建設を中心とするITER時代の研究開発について核融合実用炉に至る道筋の中で紹介する。

2. プラズマ閉じ込め実験の時代から核融合反応の実証段階へ

- ・地上の核融合の実現を目指して
太陽の核融合との違いは何か？
- ・エネルギー源としてどんな点で核融合は優れているか
核融合の特徴は何か、特に環境保全との関係、核分裂原子力との違いを中心として
- ・核融合は何時実現するの？
核融合の進歩は速いか遅いか？
プラズマ閉じ込め装置開発の歴史
技術開発のフロントを刺激しながら進む総合科学技術
著しい性能向上、プラズマの温度と閉じ込め密度が10年に1桁の割合で高くなってきた。

3. 大型トカマク、国家プロジェクト競争の時代

- ・1980年代は「ゼロ出力プラズマ領域」の研究を目指した世界4大トカマク装置建設
- ・1990年代には、JT-60とJETの2つの装置で、「ゼロ出力プラズマ条件」の達成
JETとTFTRによるD-T燃焼による核融合反応出力の実現
- ・実験炉建設へのデータベース構築 (ITER物理R&D活動)
世界のトカマク装置を駆使した調整が取れたプラズマ研究が進
良好な閉じ込めモードの発見と探求
安定な運転のためのディスラプションの回避や緩和技術の進展
定常運転に向けた原理実証 (自発電流によるプラズマ電流維持)

4. 核融合実験炉計画

- ・核融合炉への道筋 (第1図)
発電は何時頃？ 市場への参入はいつ頃？ もっとはやくできないか？
- ・ITERは政治的に突然現れた計画か
INTORからITERへ (設計手法の構築から共同建設計画へ)。ITERの前に10年間の予備的活動

- ・ITERの段階的推進
共同作業の準備活動、4極共同の概念設計活動(CDA)
本格的な建設前共同作業として、工学設計活動(EDA)(第2図)
共同作業から共同事業へ

5. ITER時代の研究開発

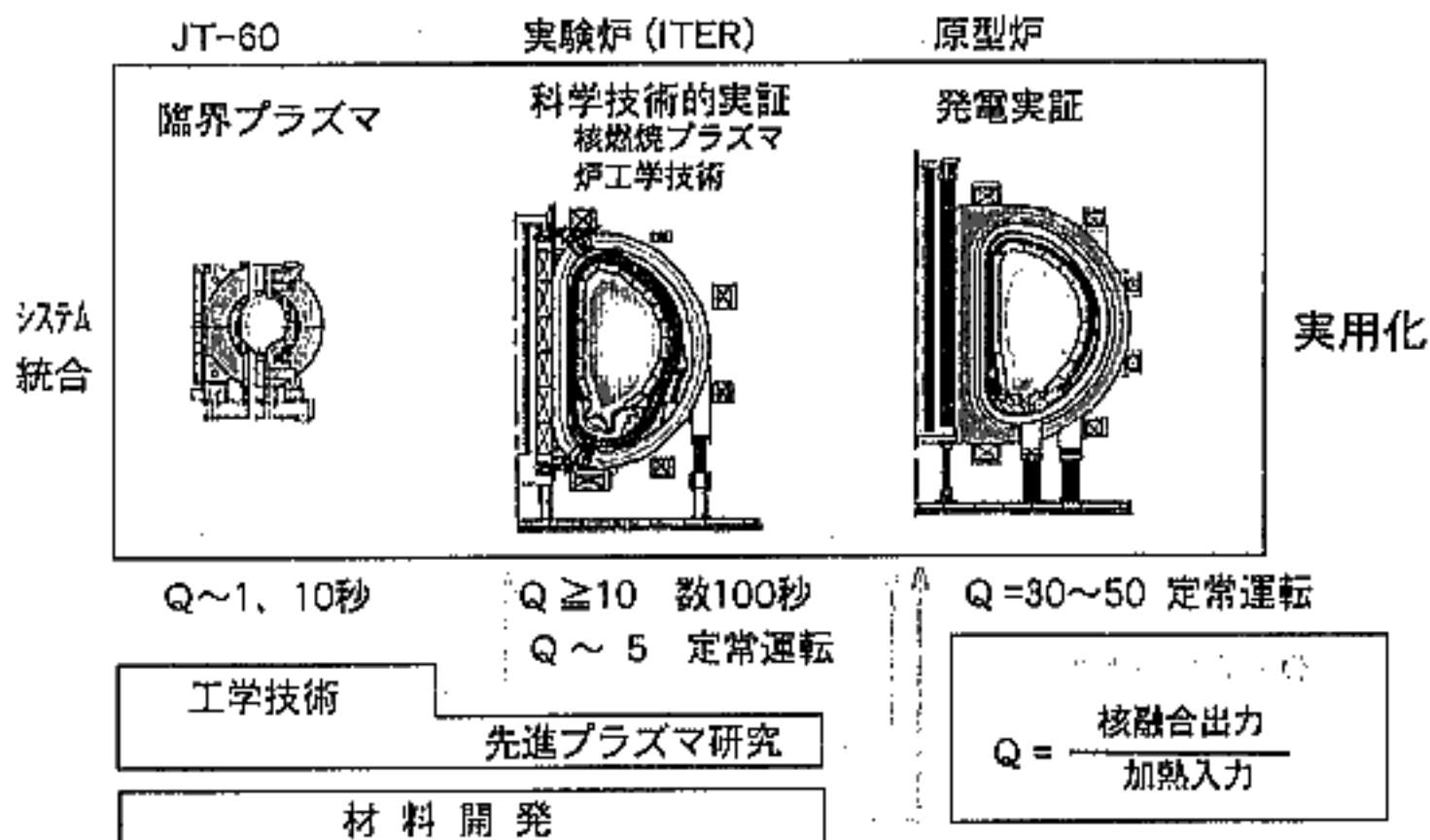
- ・ITERで達成すべき課題
- ・ITERと並行して進める研究開発
- ・ITERのスケジュールと並行して進める研究の相互関係

6. 研究開発の推進体制

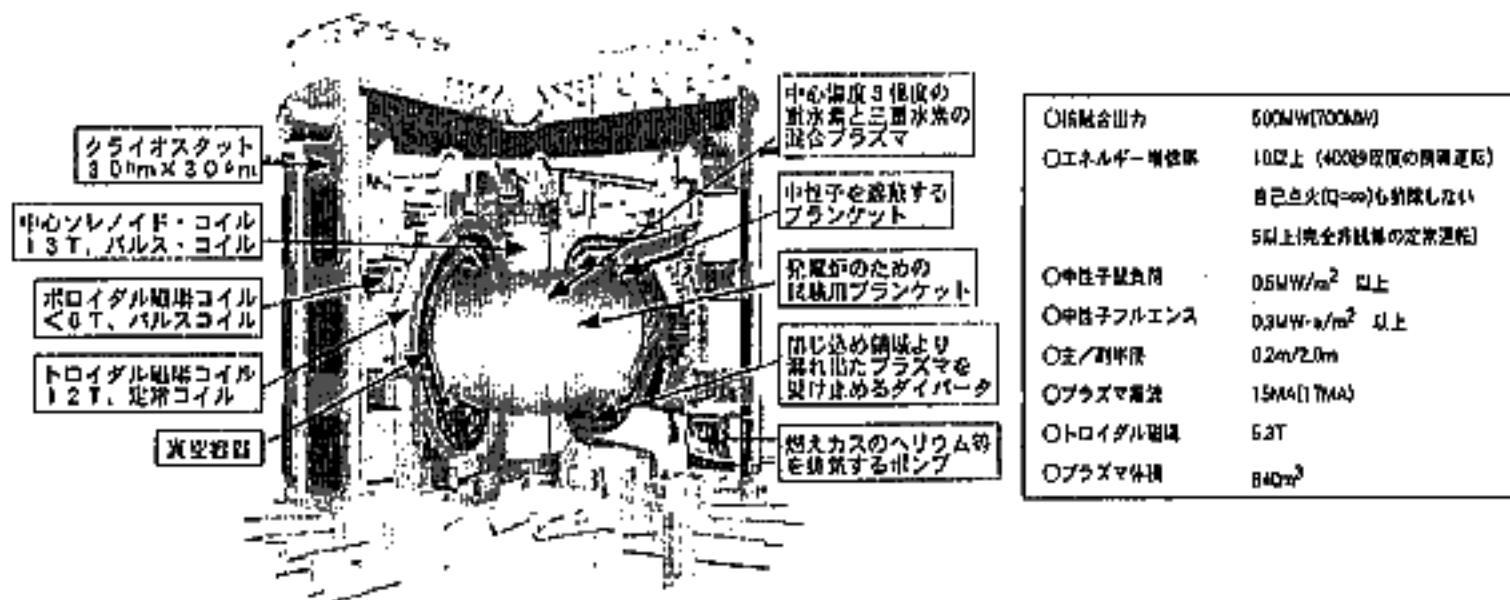
- ・研究開発のスパンと人材の育成(既に15年、建設に10年、実験20年、廃止5年)
- ・国際的組織体制、国内協力体制(第3図)
- ・チャレンジングな課題に取り組む逞しい若手研究者を次々に生み出す科学文化的土壌づくり
- ・国民的合意形成をめざして・・・核融合フォーラム

[参考文献]

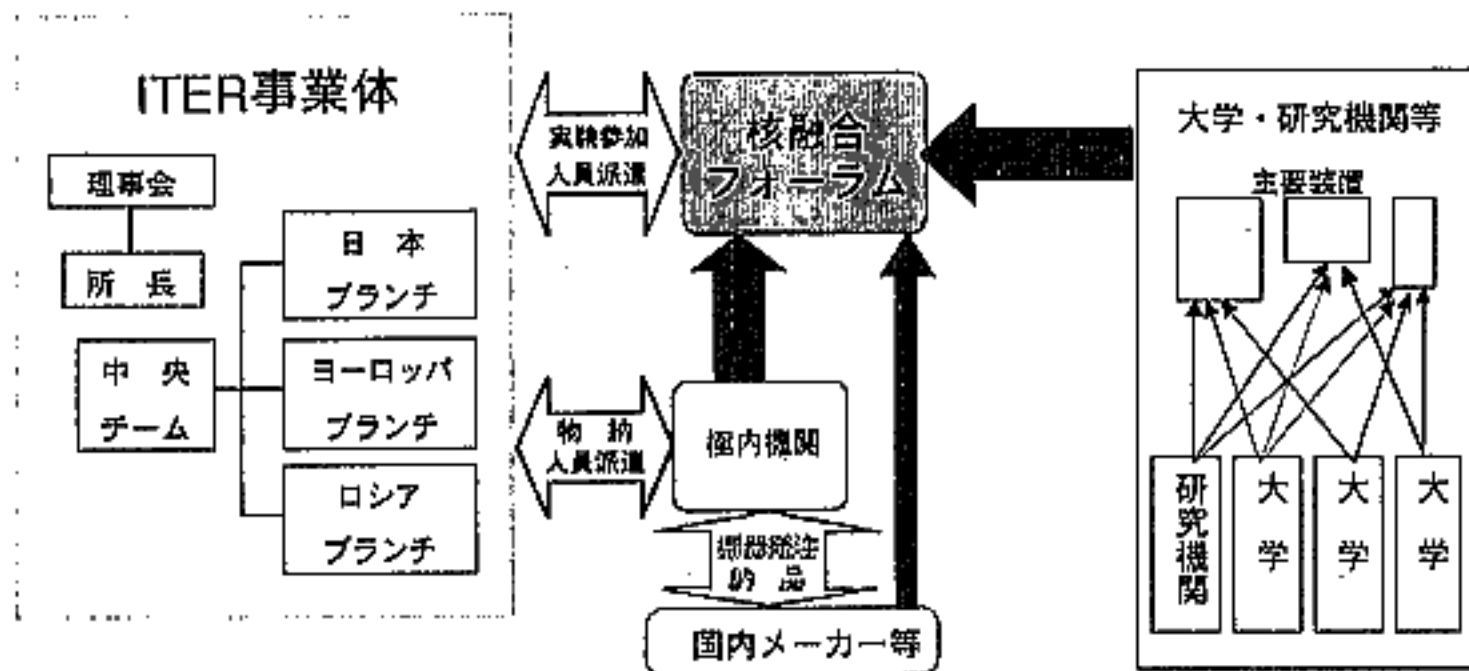
- 1)「特集 ITER工学設計活動報告」、日本原子力学会誌、Vol. 44, No.1, pp.16-89 (2002)
- 2) プラズマ・核融合学会誌、第78巻増刊2002年1月、特集/ITER工学設計



第1図 核融合炉の実用化へのステップ



第2図 核融合実験炉 ITER のトカマク本大部の構造と装置の主要諸元



第3図 ITER研究開発の国内体制（構想）



高レベル放射性廃棄物地層処分の現状と課題

富士常葉大学 徳山 明

Problems on Geological Disposal of High Level Radioactive Wastes in Japan

Akira TOKUYAMA, President of the Fuji-Tokoha University

(Abstract)

In Japan, nuclear waste management issues are increasingly at the forefront of social problems, because the Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) was established after the adoption of the law concerning the final disposal of radioactive wastes in 2001, and now the procedure of the geological disposal is started. The long-term stability is supported by physical stability of rocks, as well as long-term constancy in geo-chemical equilibria in deep underground water. The first step of the NUMO to select the Preliminary Investigation Areas (PIAs), is to eliminate clearly unsuitable areas, such as active faults and regime of active volcanoes.

It is a problem to select a suitable candidate site for the Geological Disposal, because Japan is subject to frequent earthquakes and active volcanisms. However, large earthquakes are focused on restricted numbers of active faults, which have been reactivated during the late Quaternary. There is small possibility of a new active fault occurring within the next one hundred thousand years, because the tectonic and stress regime will be stable. Fault movements, and therefore earthquakes, occur on existing faults to reduce the cumulative strain resulting from the plate subduction process, so the possibility of occurrence of new failure in the rock body could be quite small.

The plate tectonic regime and movement rates around Japan have been stable during the last two million years and the stress conditions stable for the last several hundred thousand years. This broad trend is likely to continue for the next few hundred thousand years, except in areas close to plate edges. Because volcanic activities are controlled by plate motion, areas of active volcanoes are restricted with in relatively small areas in a million years.

I. はじめに

我が国における高レベル放射性廃棄物の地層処分は 2001 年に「特定放射性廃棄物最終処分に関する法律（以下最終処分法）」の成立を俟って、実施主体「原子力発電環境整備機構（原環機構）」が設立され、併せて資金管理機構として「原子力環境整備・資金管理センター」が指定され、実施の緒についたところである。

地層処分に関する開発研究については既に 1980 年頃から科技庁の指定に基づき、動燃・サイクル機構によって着実に進捗してきた処である。1998 年の原子力委員会バックエンド専門部会による「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について」の指針を受け、最終的にサイクル機構による第 2 次レポート「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」（第 1～4 分冊、2000 年 11 月）が上梓され、基本的方向が打ち出された。この第 2 次とりまとめの公表に当たっては、その内容に関して、サイクル機構のみならず、大学や地質調査所、防災科学研、原研、電研等の研究所や更に処分技術開発に当たっている企業の研究者等全国の関連分野の研究者が一堂に会し、長大な討論と検討を行い、はじめて全国レベル、All Japan の研究協力ができた。

この報告書では、地域を特性せず「日本には地震・火山等の活動はあるが、今後 10 万年程度にわたり、高レベル放射性廃棄物を地層中に安全に隔離しておける場所は存在する」が結論であった。

最終処分法の成立により、処分場選定の手順が示され、概要調査地区選定 - 精密調査を経て、処分場候補地選定が行われる手順が示され、これを原環機構が具体化することとなる。これに先立ち、土木工学会では原子力土木委員会の中に地下環境部会を設け、概要調査地区選定にかかる技術的問題点の検討を行い、「地層処分と地質環境 - 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」の報告書を 2001 年 8 月に公表した。

第 2 次とりまとめ等はすでに OECD/NEA, DOE, NAGRA 等の諸外国の研究者の査読討論を経て、その内容が妥当であるとの結論を得ているが、最近、原環機構主催の国際テクトニクス会議(ITM)において、活断層、活火山等の地殻活動に対する我が国の地下地質環境の性質が議論された。

本稿では、これまでのこれら地層処分研究開発の段階で問題となった事柄を中心に、我が国の地層処分の安全正等の問題点を述べ、今後の課題に敷衍したい。

II. 地質的安全性の問題

我が国では、地震や火山等の地殻活動が盛んであり、また、日本列島がいわゆる擾乱帯に位置する等の認識から「10 万年程度」の長期にわたり、地層の安全性を確保できる場所が存在するかという素朴な疑問に答える必要がある。これについては、前出原子力土木委員会の報告書の中に、活断層や活火山の地域を如何にすれば避けられるかの *Avoidance Strategy* の基本的考え方が述べられている。

II.1. 地層処分の安全性に対する考え方

高レベル放射性廃棄物 (HLW) は鋼鉄のキャニスター中でガラス固化し、これをオーバーバックで包み、岩石中に埋設するが、母岩とオーバーバックとの間にはベントナイトを主とする緩衝帯を置く。つまり、HLW のガラス固化体と母岩との間には、キャニスター（厚さ 1cm）・オーバーバック（約 20cm）、緩衝帯（約 70cm）があり、この部分を人工又は工学的バリアとよぶ。人工バリアと地表環境との間には厚さ数 100m の岩石・地層の層があり、この部分をファーフールドと呼ぶが、地層処分ではこのファーフールドの持つ放射能遮蔽性と、核種移動に対する遅延機能が基本的考え方であり、この二つの機能が長期（日本では 10 万年程度）失われない場所の選定が

最重要課題である。

放射性核種はガラス固化されており、ガラスの溶解度が小さいので、仮に人工バリアが壊れて、固化体が地下水に直に接しても、地下水がアルカリ性なので、溶解度は中性より更に小さいから、母岩に核種が直に出ることはほとんどあり得ないし、また、母岩に出ても、フューフィールド機能により、10 万年程度ではとても地表に到達することはできない。人工バリアの遮蔽機能が損なわれる事については、次の三つの場合を検討すればよいと考えられる。

- i. 活断層直撃により、ガラス固化体が壊され、地下水に直に曝される場合。
- ii. 火山活動直撃により、ガラス固化体が壊されるか、または温度上昇により、地下水組成が変化する場合
- iii. 急激な温暖化等により、埋設位置の地下水の化学組成が犠牲に変化する場合

これ以外の場合、地殻変動、気候変動等は緩慢であり、埋設 HLW の上の数 100m の地層が浸食されて、10 万年以内に地表に露出する事はない。HLW は鋼鉄のオーバーバックで包まれているから、地震時の岩盤内の地震振動に対しては充分強固に出来ており、振動だけで破壊されることはない。オーバーバックの素材の炭素鋼が破壊する変形限界は 12 - 13% と考えられるので、そのオーバーバックが破損するのは断層が横切るか、または断層至近の破砕帯で、変形が 10% 以上に及ぶ所以外にはない。したがって、概要調査地区選定にあたっては活断層・活火山をさけることが最重要課題となっている。

II 2. 活断層の構造地質的背景

活断層や火山活動の機構については日本周辺のプレートの状態、日本海溝へのプレートもぐり込み（サブダクション）に関連して説明されている。日本列島を取り巻くプレート運動にかかる構造地質の状態は過去 200 万年間変化が無く、応力条件も少なくとも数十万年の間は安定している。プレートの状態が今転換を始めたとしても、地殻にかかる応力条件が変化するまでには 100 万年以上を要すると思われる。今後少なくとも 10 万年、おそらく数十万年程度は、日本周辺での地殻にかかる応力及びその方向はこのままの状態が継続すると考えられている。プレートサブダクションに起因する横圧力により生じた、歪エネルギーが地殻ブロック内で変形限界に達すると、既存の断層面に沿って地殻ブロックがずれ動き、歪みを解消する。これが活断層であるが、日本列島周辺で歪みの原因となるプレート運動や応力状態が現在のまま継続的に推移するとすれば、現在と同じ様な歪みの過程が繰り返されるので、地殻ブロック内の別の場所に新たな破断ができ、新たな活断層が生ずるとことは考えにくい。従って今まで活断層のないブロック内に新たな活断層が生ずることはないと考えて良い。

活断層についてのこれまでの知見（松田, 1998, 2000 等；中田他, 2000 等）を総合すると、現在確認できる活断層は約 2,200 であるが（JNC, 2000）、これら活断層間の推定活断層、活褶曲、伏在断層等が連続的に配列しているものをグループ化し、更に、後期更新世以降の断層変位地形を重視し、最近数十万年に繰り返し活動した痕跡のある断層を整理すると、約 140 あることが分かった（中田他, 2000）。これらのうち 98 の活動の顕著な断層についてトレンチング調査を実施したところ、これらは最近数十万年の間に繰り返し活動しているが、通常 2000 年、長くても 2 万年の間には再動していることが分かった（井上他, 2000）。これ以上長い時間活動していない断層は、従って今後数十万年位は動かないと考えて良いわけである。我が国には古気候変化の影響で、12.5 万年以前の段丘面や段丘堆積物の層が広汎に分布しているが、それらの発達している地域で、それらの面を動かしていない断層は活断層ではないと判断して良いことになる。このような断層に着目すれば、活断層を避けた立地が可能となる。

地震活動はプレートの運動との関連で云えば、①海洋プレート内、②もぐり込む海洋プレートと内陸プレート又は地殻との境界面、及び③地殻内部で発生する。人工バリアは地震の震動に対して

は充分安全・強靱に設計されるので、①及び②の地震に対しては安全である。従って③の活断層直撃以外で地下バリアが破壊されることはない。概要調査地区選定に関して第一に避けなくてはならないのは活断層であるが、このようにして"Avoidance Strategy"の確立を図ることが出来る。

11.3. 火山活動の構造地質的背景

アーク火山活動の元となるマグマはプレートサブダクションに関連して生ずる地殻の部分熔融により発生するので、活火山の分布はプレートの配置、動きと密接な関係がある。特にいわゆる火山フロントは第三紀後期以降規則的に配置し、第四紀の200万年の間に大陸側に数kmしか動いていない。この火山フロントとプレートサブダクションの海溝との間の地域(A)には火山活動は全くない。これより大陸側には火山が分布するが、地域的にクラスター状の塊となって集中して分布しており(C地域)、東北日本では第四紀に出現した火山噴山の中心はそれ以前からの噴火の中心から10km以内、大部分は6km以内にかたまっている。このことから、火山フロントの内側で、このクラスターをはずれた地域(B)には、数十万年にわたり火山の噴出は無いと判断される。東北日本では、概要調査地区選定に当たってはCをさければ、A及びBの地域は候補となり得ると考えている(原子力土木委員会, 2000)。

西南日本には、このようなアーク火山の他にアルカリ玄武岩質火山がある。これらとプレート運動との関係は明確でなく、単成火山と考えられている。最近の研究では、これらもやはりクラスター状に分布しており、その活動の中心は、過去数~10MAの間一定の範囲の中に限られている。このクラスターの外の地域は将来10万年程度であれば火山活動は無いと考えられるが、Avoidance Strategyの観点からすれば、東北日本のB地域よりは確度が低い。

11.4. 隆起・沈降と浸食等への対応

隆起・沈降は活断層や活火山に比べると、地殻運動の範囲が広く、かつ、運動の速度がおそい。また、隆起する部分の全てが浸食されるわけでもない。地殻運動が広域的かつ緩慢なため、地層処分に対しては充分対応ができると思われる。

例えば、静岡の日本平は10万年の間に300mの隆起があり(土, 1967)、この隆起は非常に速く大きい。日本平は平面的には扇状の形をなすが、全体としてはドーム状の隆起であり、現在はその1/4が残っているため扇状の形となっている。この隆起の範囲は半径約5kmのドームをなしており、日本平の北斜面には礫層がケスタ状に載っているのがわかる。もともと水平の地層が隆起によりドームとなったが、その隆起の半径を5kmとすると、この層の変形率(DR)は次のようになる。

$$DR = 300\text{m} / 5\text{km} \cdot 10\text{万年} = 6 \times 10^{-7} / \text{年} = 2 \times 10^{-15} / \text{s}$$

この変形の速度は1年当たり6/1千万、1秒当たり 2×10^{-15} となる。この値は地殻変形では最も遅いとされるスカンジナビアの後氷期隆起の約10倍に相当する。

岩石の歪み限界は1%、HLW オーバーバックの歪み限界は短時間の変形では12~13%程度と考えられるので、長期の隆起の運動では、HLW 及びまわりの岩盤は全く壊れることはない。先にも述べたように、日本平の隆起は世界でも最も速いものの一つと考えられているが、変形率に直すと、大変に小さい。たとえここに10万年の間埋めておいたとしても、歪み総量は6%であり岩石も地層も破壊されることはない。まして、オーバーバックに包まれたHLWが壊れることはない。広域隆起の場合には、変形率は日本平より更に小さくなるので、隆起・沈降は地層処分には影響がないと考えて良い。

隆起速度が速い場合には、浸食により、地下のHLWが地表に露出したり、地下水位が変化することがあると思われがちであるが、例えば、日本平の場合、10万年に300mの上昇があったにせよ、隆起した地殻ブロックの全体量が剝削されるわけではないので、地下数100mの場所に移設したものが、10万年後に地表に露出する訳ではない。隆起・沈降は広い範囲で長時間かけて緩慢に進行するので、概要調査地区に選定したとしても、10万年後の予測は容易であり、十分に対応

ができる筈である。

III. ファーフールド機能

地層処分を行う最も大きな拠り所は地層の持つファーフールド機能にあり、たとえ核種が地下水のある地層・岩石中に拡散してきたとしても、地表に到達するまでに時間がかかり、その間に放射性毒性が軽減し、安全になると考えられているからである。

岩石・地層は珪酸塩鉱物からなり、放射能遮蔽性を備えているので、仮に人工バリアが破損しても、放射線がすぐに地表に到達することはない。核種が地下水に拡散するとどうなるかが問題となるが、核種は母岩との間にあるベントナイト緩衝材と深部地下水によって捕捉される。ベントナイトの主成分のモンモリロン石はウンモのような層状の構造をもつが、地下水中のように H_2O , OH のある環境では 20-30 Å の間隔を持つ (徳山, 1986b)。ウラン等の金属化合物の分子は大きいので、この粘土鉱物の層間はウラン化合物の分子より大きく、この層間に捕捉される。岡山の人形峠のウラン鉱床では、この様な形で粘土鉱物がウラン化合物を捕捉して鉱床となった。通常モンモリロン石の層間は乾燥時には 12.3 Å となるが、人形峠でウラン化合物を層間に挟む場合には、湿潤時の 20-30 Å をそのまま保ち、乾燥しても層間の距離は縮まない。HLW の固化体のガラスは溶解度が小さく、特にアルカリ性では小さいので、仮にガラス固化体が地下水のある環境に曝されても、ガラスの構造に封じ込まれた核種が地下水環境に拡散されることはほとんどない。拡散されたとしても、緩衝材中のモンモリロン石に捕捉され、ウラン鉱物として沈殿してしまうので、母岩まで達することはないと考えられている。

III.1. ファーフールド地下水の地球化学

日本では地表から数百メートル下の地下水は、広汎にアルカリ性で、pH 8~9 である。これは、空気中の CO_2 が雨とともに地下水に溶け、まわりの岩石・地層と反応を起こし、平衡に達しているからである (徳山, 1983, 86a)。二酸化炭素が地下水に溶けると、 $[\text{HCO}_3^-]$ イオンができ、岩石を構成する珪酸塩と反応し、Al, K, Ca, Mg 等のアルカリや苦土類及び SiO_2 が溶脱し、地下水系に入り、反応しながら地下深部 (地下水下底) にまで達する。この際、母岩中には溶脱し残りの Al_2O_3 を中心として、粘土鉱物の水平な層が形成される。この粘土層はその場所の地下水系と平衡関係にあり、代表的な花こう岩の地域では、地表地殻の上からギブス石、カオリナイト/ハロイサイト、モンモリロン石、斜布チロール沸石、フリントの順に水平、層状に分布し、その下に数メートルの溶脱花こう岩存在し、地下水の下底となる。なお、この平衡系の反応は累進的であり、地下水の温度が上昇したり、二酸化炭素濃度が増して、化学的ポテンシャルが高くなると反応が進むが、ポテンシャルが低いときには反応が停止しており、現在は準安定の状態にある。このため、地表には現在よりポテンシャルの高かったときに形成された鉱物層が保存されている。この鉱物層は第三紀中新世から鮮新世に形成されたと考えられ、我が国では風化殻として広汎な分布をもつ (徳山, 1983)。

地下水平衡系と風化殻構成鉱物

		Si : Al	pH
ギブス石	$\text{Al}(\text{OH})_3$	0 : 1	4
ハロイサイト	$\text{Al}_4 \{(\text{OH})_8 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10}\} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1 : 1	
(ゲーサイト類	FeOOH , MnOOH 等)		6
モンモリロン石	$(\text{Al}, \text{Mg})_2 \{(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\} \cdot \text{Na}_{0.3}(\text{H}_2\text{O})_4$	2~4 : 1	
斜チヨウ石	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	3 : 1	7
斜布チロール沸石	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Mg})_5 \{ \text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72} \} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5 : 1	8
フリント (オパール)	SiO_2	1 : 0	

風化殻における、このような粘土鉱物の階層分布の構造は、地下水滞水層の化学的平衡が長期に保たれていたことを示し、地震等の擾乱があつたとしても乱されずに保たれていたことを示している。日本における地層処分計画では、HLWは地下数百mの所に埋設する事としているが、これは地下水底部のアルカリ領域の場所に当たる。地下水底部に拡散した物質は、その階層で捕捉され、この階層構造を越えて上の層に移ることはない。地震により、地下水の階層構造が一時的に擾乱したとしても、短時間に元の平衡状態にもどるため、地下水の階層構造を越えて核種のイオンが移動することはない。つまり、地下水滞水層の下底部に拡散するイオンは下部の同一階層中のみを移動するから、地表に出てくることはない。ファーフールド機能としてはこのように、地下水滞水層の化学的平衡に基づく水平な階層構造の存在が鍵となる。

III.2. ナチュラルアナログ

中国地方から中部地方に広汎に分布する風化殻の存在は、我が国ではほとんどの所で中新世または鮮新世の時の地表・水系が現在までそのままの形で残っていることを示している（徳山、1986）。東濃の瑞浪には、兵庫県社町と全く同じ粘土鉱物の階層構造が残されており、これらは鮮新世の高温多雨の気候下で形成されたと考えられる（淡・徳山・坂口、1983）。瑞浪ではモンモリロン石～フリントの階層にウラン鉱床が形成されているが、その形成過程は岡山県の人形峠の鉱床と同様である。瑞浪ではこの鉱床が月吉断層（横ずれ性の逆断層）によって切られ・ずらされている。このことはここを震源とする地震が発生したことを意味している。しかしながら、ここでは断層面周辺にウラン等の放射性核種が移動・拡散した形跡は全くない。風化殻の粘土の階層構造に乱れないことから、一時的に地下水滞水層に擾乱があつたとしても、すぐに元に復したものと思われる。東濃鉱山での地下水調査によると（JNC, 2000）、下底部の地下水はpH8-9であり、鮮新世の地下水の化学性をそのままに残している。地下水の年代測定によると、この地下水は約2万年前のものといわれている。

我が国では、このようにほとんどの河川の起源が中新世乃至鮮新世にあり、地下水の化学性もそのまま保存されている。階層構造は少なくとも500万年は保たれていたことになる。このような例からも、将来10万年程度であれば、地下の化学的環境はそのままに保持されると考えて良い。

岩石・地層の長期にわたる安定性を一般的に証明することは難しいが、具体的な場所の事例についていえば、例えば上述のように、東濃地域では、ウラン鉱床が1千万年間そのままの形で保存されていたことと、地震等の擾乱があつたにもかかわらず、核種が拡散した形跡はない。HLWのガラス固化体と似た組成を有する火山ガラスが、100万年間、粘土層の中で全く溶けずに残っている例が知られている（湯佐、1990）。銅や鉄の金属鉱床が2億年前くらいに形成され、そのまま地層中に保存されているという例は日本中の多くの鉱山で知られている。よく知られているように、ガボンのオクロ鉱山では、鉱床内で原子炉と同じ様な核反応が起こり、プルトニウムやHLWと同じ様なアクチニドのような物質が生じたが、これらはその後10億年間そのままの形で地層中に保存されている。珪酸塩鉱物の集合体である岩石や地層は、このように金属などを封じ込めておく性質があり、放射能に対する遮蔽性があるが、天然現象でのこのような類似の事例、ナチュラルアナログ、を調べることで、日本でも同種の岩石は同じ様な性質を有することがわかる。

今後、概要調査地域の調査では、当該地域での事例を発掘し、具体的に安全性を説明する必要がある。

IV. 今後の課題

処分予定地候補の選定に当たっては、最終処分法では「概要調査地区選定」「精密調査地区選定」及び「最終処分施設建設地選定」の3段階の選定調査を経て最終処分候補地を決めるこ

ととされている。第一段階の概要調査地区選定では、文献調査により、地層処分の候補地として明らかに不適切な地域を除外することが主な目的である。その必要要件としては、①地震等の自然現象（活断層、火山活動等）による、著しい変動の記録が地層の中にあること、②将来にわたり、著しい変動の生ずるおそれが少ないと見込まれること、③第四紀等の未固結層を避けること、及び④経済的価値のあると判断される鉱物資源等がないことの4項目が挙げられている。これらの項目についてはすでにJNC2000年レポートにより、全国的な調査は了えている。

地層処分事業は原燃機構によって実施の緒についた処であるが、2002年度には候補地の応募を開始し、応募した地域について、概要調査を開始することとなる。この場合、応募の主体は一つ又は複数の自治体となっているが、自治体が当該地域について候補地となり得るかどうかの判断をどのようにして下すかが問題であり、原燃機構は、応募しようとする自治体の立場に立ったわかりやすい資料を公開する必要がある。避けなければならない地域は、個々の断層や火山によって異なるので、当該の断層や火山での過去の研究により明らかにされた事項を的確に整理し、カタログを作成することが肝要である。他方、地層や岩石等の母岩や、深部地質環境の性質により、構築する人工バリアは異なるから、代表的な地層・岩種や深部地質環境ごとの処分場の形態・要件等の整理が不可欠である。概要調査を開始するということは、精密調査地域に繋げることが前提となるから、概要調査から精密調査へ移行するための方策・調査手法の開発も同時にスタートする必要がある。従来のサイクル機構の研究開発は全国の地質を俯瞰する立場であったが、原燃機構で行うのは、個々の具体的地域・地質を対象とした開発事業であり、適地を選定する作業であるから、それに適した調査手法の開発が必要となる。

概要調査の研究は地層処分の第一段階である。これまでのサイクル機構を中心とした研究開発を具体化する研究である。All Japan の研究者の教習を結集する、横断的なグループと実りある学際的議論が必要なことを提言し、闘争する。

主な引用文献

- 原子力委員会バックエンド(専門)部会(1997): 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の今後の進め方について、科学技術庁
- 核燃料サイクル開発機構(2000): 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次とりまとめ - (総論、第1~3分冊)、核燃料サイクル開発機構
- 土木学会(2001): 「地層処分と地質環境」 - 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方、土木学会原子力土木委員会地下環境部会
- 200分の1活断層図編纂ワーキンググループ(2000): 「200万分の1日本列島活断層図」 - 過去数十万年間の断層活動の特長 - 活断層研究 19.
- CHAPMAN, Neil & APTED, Mick (2002): Summary Record of Discussions for 1st International Tectonics Meeting, Tokyo: 原子力発電環境整備機構
- INOUE, Daiel, et al. (2001): Return Period of Active Faults and Tectonics of Japan, 3rd Asian engineering Symposium., Jok Jakarta, Indonesia
- 松田時彦 (1998): 活断層からの長期地震予測の現状 - 糸魚川-静岡構造線活断層系を例にして、地誌, 50
- 岡田篤正・安藤雅孝 (1979): 日本の活断層と地震, 科学
- 土隆一 (1967): 鹿原山地の地質, 静岡・清水地域の地質図説明書, 静岡県
- 徳山 明 (1983): 古期深層風化, 地学雑誌 92-7
- 徳山 明 (1986a): 古期風化殻の形成と後期第三紀以降の地形化作用 (I, II) 地学雑誌 95-1,2
- 徳山 明 (1986b): モンモリロナイトの4相と大規模地すべりの機構, 北村記念地質論文



大型放射光施設 SPring-8 の現状と成果

Present Status and Research Frontier of the SPring-8

財団法人高輝度光科学研究センター 大野英雄

OHNO HIDEO

1. はじめに

SPring-8(Super Photon ring-8GeV)は、世界最高性能の放射光を発生することができる大型の研究施設であり、平成3年から日本原子力研究所(原研)と理化学研究所(理研)が共同で建設し、約6年の歳月をかけ完成し、平成9年10月から共同利用を開始したものである。

本施設は、原研と理研により建設され、財団法人高輝度光科学研究センターが一元的に管理・運営を行っている。SPring-8は、日本国内はもとより海外の研究者にも広く開かれた共同利用研究施設として、物質科学、生命科学、化学、環境科学、地球惑星科学、医学など幅広い研究分野において利用されている。また、産業界においても SPring-8 の利用の重要性が認識され、産業界専用の放射光ビームラインの運用もなされている。

現在、本施設は年間5400時間運転し、ユーザーが利用できる時間は年間4000時間を超えている。研究課題も年間900件を超えて採択され、年間約5000人の研究者に利用されている。

2. SPring-8 の現状

2. 1 蓄積リングの性能

SPring-8 の加速器は世界最高性能を有している。蓄積リングの設計値と実測値を表1に示す。

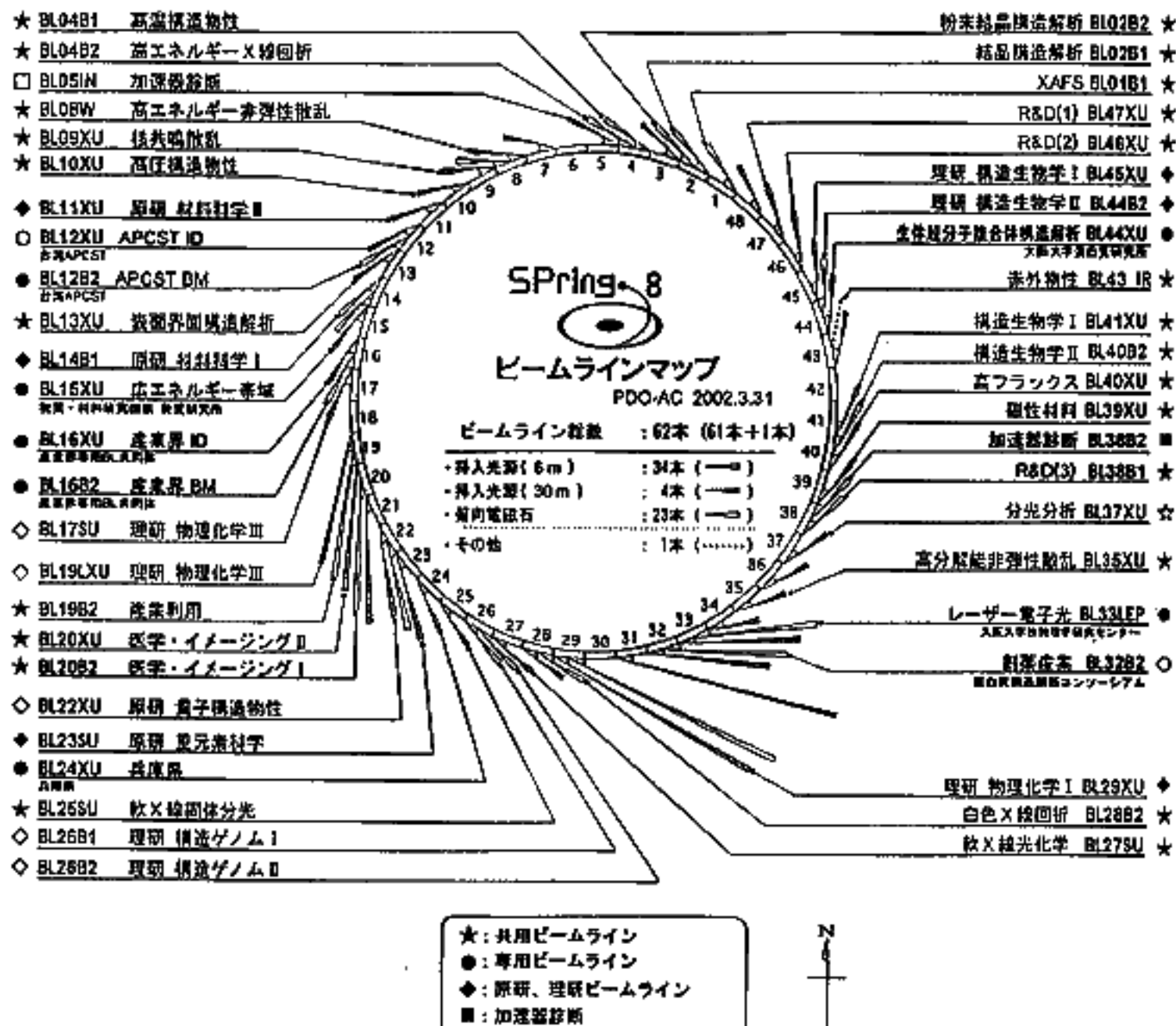
表1 蓄積リングの性能

	設計値	実測値
対称性	24/48	4
蓄積電流値		
マルチバンチモード	100mA	100mA
シングルバンチモード	5mA	13mA
エミッタンス	6.9nm・rad	6.3-7.4nm・rad
寿命 (life time)		
マルチバンチ(100mA)	24hrs	120hrs
シングルバンチ(1mA/バンチ)		22hrs

2. 2 ビームラインの設置

SPring-8 は総計62本のビームラインが設置可能であり、現在47本のビームライン

運転あるいは建設中である。図1に配置図を示す。

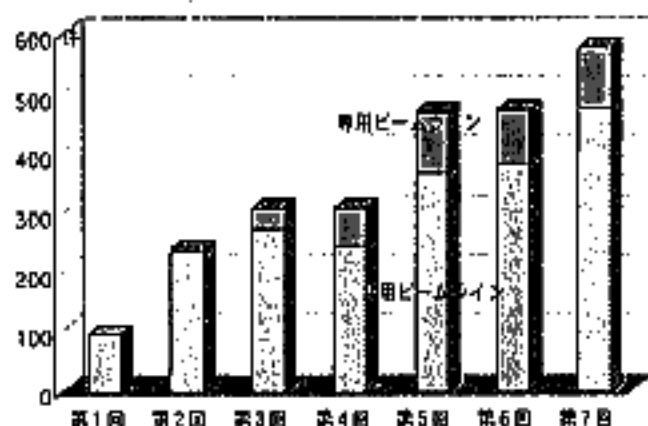


区 分	ビームライン				合 計
	共 用	専 用	原研・理研	加速器診断	
稼動中	24	7	6	1	38
調整・建設中	1	2	5	1	9
稼動中	25	9	11	2	47

図1 Spring-8におけるビームラインの配置

2. 3 利用状況

課題数の推移



利用者数の推移

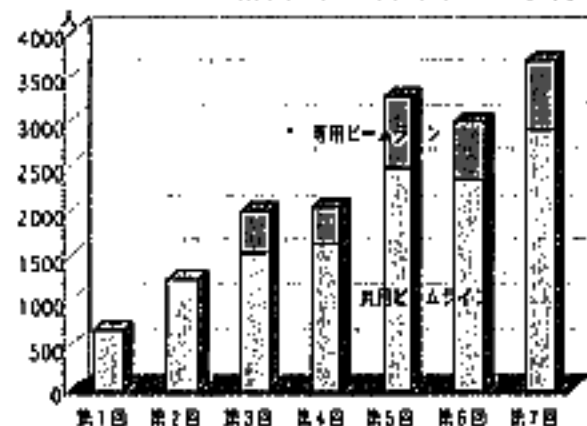


図2 課題数ならびに利用者数の推移

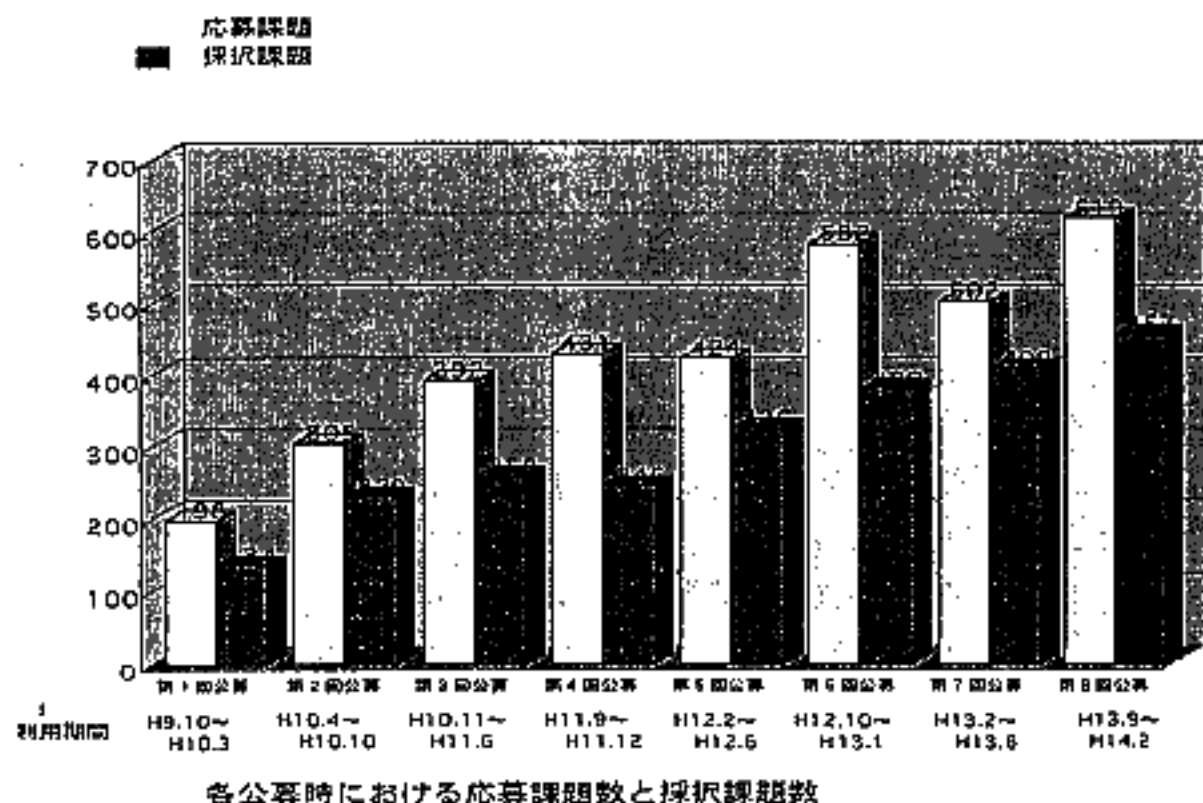


図3 各公募時における応募課題数と採択課題数

3. SPring-8 の特徴を生かした研究

SPring-8 から得られる、高輝度・高品質な光を用いた特徴ある研究内容を以下にまとめた。

(1) 高輝度光

極微小な試料での研究：

極微小サイズ（ $\sim 10\mu\text{m}$ ）の蛋白質結晶の立体構造、

隕石あるいは宇宙塵の内部構造

極微量な試料：極微量（～1mg）の粉末結晶の精密電子密度分布、

極薄膜、クラスター、希薄不純物の解析

極微小な相互作用の観測：X線非線形光学現象

マイクロビームの利用（X線～0.1 μ m、軟X線～20nm）：

微小領域解析、走査型顕微鏡

高指向性ビーム（ 10^{-5} ～ 10^{-7} rad）の利用：

吸収・屈折・位相・回折コントラストのイメージング

（2）パルス光の利用、時分割解析（高速シャッター：ms～ μ s、少数バンチ：ns）：

蛋白質結晶の反応過程・生体反応

化学反応過程の反応中間体の構造

触媒反応、光化学反応の機構

（3）エネルギー選択性利用：

異常分散利用の結晶構造解析

高感度 XAFS による微量原子近傍の構造

（4）高エネルギー分解解析：

X線非弾性散乱（～meV）によるフォノンの分散関係、

X線核共鳴散乱（ μ eV～neV）による電子状態・運動状態

（5）高エネルギー X線（50～300keV）の利用：

重元素内殻励起、核励起・核共鳴散乱

コンプトン散乱、ランダム系物質構造

（6）直線偏光・円偏光の利用：

磁性体の磁性電子の運動量分布

磁性多層膜の磁気特性とスピントロニクス

（7）空間コヒーレンス（0.1～10mm）・時間コヒーレンス（1mm～100m）の利用：

X線のコヒーレンスと光子相関関数

X線ホログラフィーによる立体構造の直接観察

4. SPring-8 における利用研究分野

（1）物質科学

超伝導体、強相関電子系物質、重い電子系物質などの電子状態と機能発現機構

量子ナノ構造の原子構造と電子状態

物質表面構造と触媒反応、化学反応

高温・高圧下における構造相転移、材料合成

微量元素の局所構造と化学状態

非晶質物質、液体、融体の構造
フォノンなどの素励起の分散関係
X線内殻励起による新物質の創製

(2) 地球・惑星科学

地球深部マントルの構造と運動
隕石や惑星間塵の構造と太陽系生成初期の状態

(3) 生命科学

生体超分子タンパク質複合体の立体構造
生体機能発現の機構、酵素反応
ヒトゲノムデータ中の遺伝子がつくり出すタンパク質の立体構造とその機能
筋収縮・弛緩の機構
生体試料中の環境汚染微量元素の分析

(4) 環境科学

排ガス浄化触媒、高性能電池材料、水素吸蔵合金などの開発による環境負荷低減

(5) 医学利用

微小血管造影法による腫瘍血管の観察、マイクロトモグラフィー・屈折コントラストイメージングによる呼吸器系疾患の観察

(7) 産業利用

機能材料（磁性体、磁性多層膜、高温超電導体など）の特性発現機能
電子・光・磁気マイクロデバイスの作成プロセスの改良・性能向上
環境調和型触媒（光触媒、排ガス触媒）、化学プロセス触媒の触媒活性機能
電池電極の信頼性評価・高性能化
構造材料の耐久性向上、疲労・破壊・腐食の進展機構
機械部材深部（対摩耗・耐熱コーティング）の残留応力分布
高分子の成型加工における構造の動的変化
放射光照射による新素材創製と素材開発（結晶化促進）
特定の病気の発症に関与する蛋白質の機能
がん、糖尿病などを克服するゲノム創薬

4. SPring-8 の主な成果

最近得られたいくつかの成果を以下に示す。

(1) 粉末回折による精密構造物性—金属原子を内蔵したフラレン分子の構造—

C₆₀を代表とするフラレン分子は、炭素原子の作る5員環が必ず6員環に隣接し、5員環同士は隣接しないことが知られていたが（Isolated Pentagon Rule）、スカンジウム原子（Sc）2個を含むフラレンで初めてこのIPR則の破れたフラレ

ン分子が発見された（図4）。微量粉末試料（～1mg）で結晶構造および分子構造が高精度に決定された。また、従来の金属内包フラーレン分子では、すべて金属原子が内蔵されたものであったが、 $\text{Sc}_2\text{C}_2@\text{C}_{84}$ では Sc_2C_2 炭化物がフラーレン・ケージ内に内蔵されていることが明らかとなった。（参考文献1）

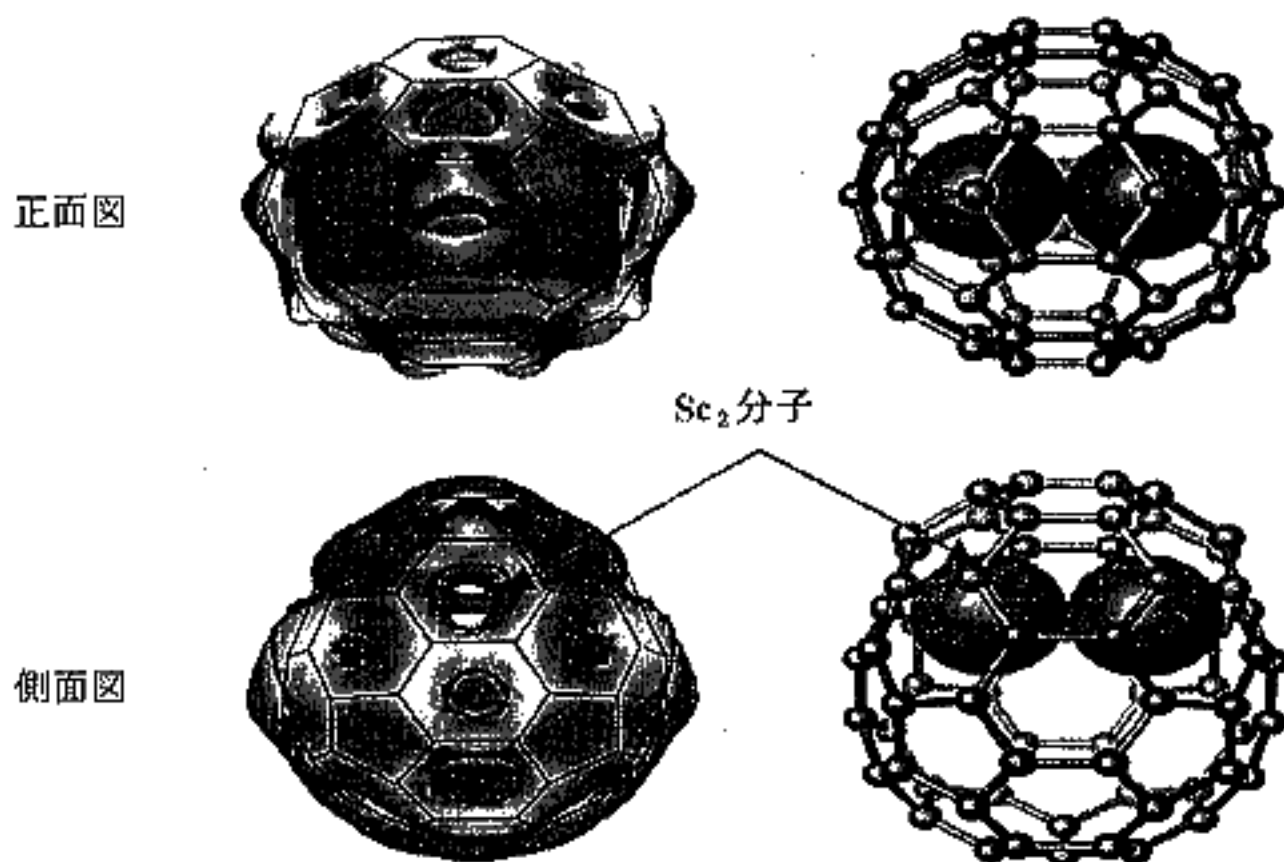


図4 $\text{Sc}_2@\text{C}_{66}$ の電子分布（左図）と構造モデル（右図）

（2）超伝導体 MgB_2 の電荷密度の精密測定

新規の超伝導体 MgB_2 結晶の電荷密度が $0.1\text{e}/\text{\AA}^3$ の精度で決定された。電荷密度分布からボロン原子間には共有結合が形成されていることが明瞭にわかる。マグネシウムは Mg^{2+} の状態で、Mg から2個の電子は原子間に非局在的に分布している（図5、図6）。超伝導転移温度以下では、原子間に遍歴する電子の密度はボロン原子のネットワークへ集中することが明らかにされた。これらの結果は、今後の重要な議論に発展することが期待される。（参考文献2）

（3）地球構成物質の高温高压下のその場観察

火山内部のマグマの粘性を平行性の高い放射光を使ってラジオグラフィー法で測

定することができるようになった。マグマの主成分となる珪酸塩の上部におかれた白金球が高压下での融解に伴い落下する様子を直接観察することにより、正確な落下速度が得られ、それから粘性を求めることができる。(参考文献3)

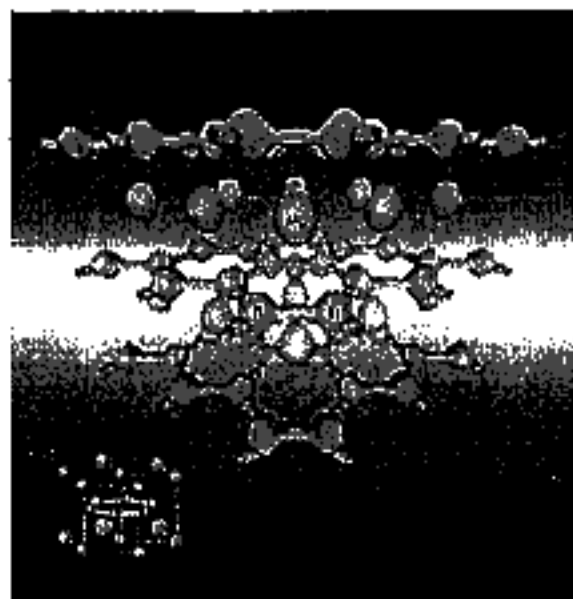


図5 MgB_2 の電子分布 ($0.75e/\text{\AA}^3$)。ボロン原子が共有結合をして、2次元的なハニカム状のネットワークを形成している。

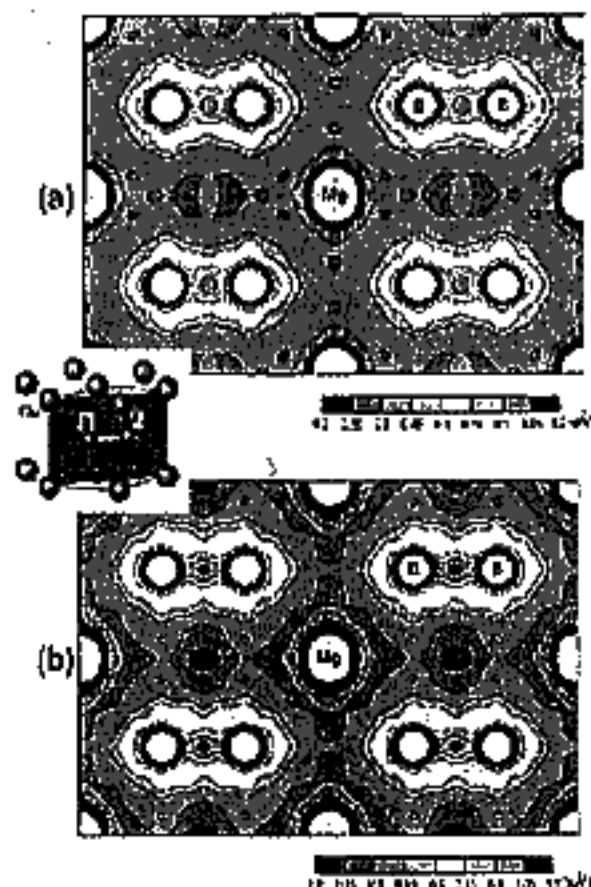


図6 (a)室温と(b)15Kでの(110)面の MgB_2 のMEM電子密度を4つのユニットセルについて等高線図で示してある。等高線は $0.0(e/\text{\AA}^3)$ から $3.9(e/\text{\AA}^3)$ までを $0.15(e/\text{\AA}^3)$ の間隔で書いてある。

(4) X線磁気回折・散乱による磁気構造の解析

—Ho-Fe ガーネットの磁気形成因子の軌道とスピン成分の温度依存性—

X線回折強度は、磁性体の磁気モーメント(M)と入射X線(KI)の方向との関係に依存し、 $M//KI$ では磁気形状因子の軌道磁気モーメント成分 μ_L が、 $M \perp KI$ では軌道+スピン磁気モーメント成分 μ_{L+2S} が観測できる。この2つの配置によって、Hoの μ_L と、Ho+Feの μ_{L+2S} の測定結果を図7に示す。

Ho+Fe ガーネットは、代表的なフェリマグネットで、130Kより高温でHoの磁気モーメントがFeのそれより小さくなり、全磁化の方向が反転する。この実験で初めてHoの軌道磁気モーメント成分およびHo+Feのスピン磁気モーメント成

分の直接観測に成功し（図8）、その温度依存性を決定した。磁性体の磁気構造研究に中性子線回折と相補的な役割をもち、重要な発展が期待できる。（参考文献4）

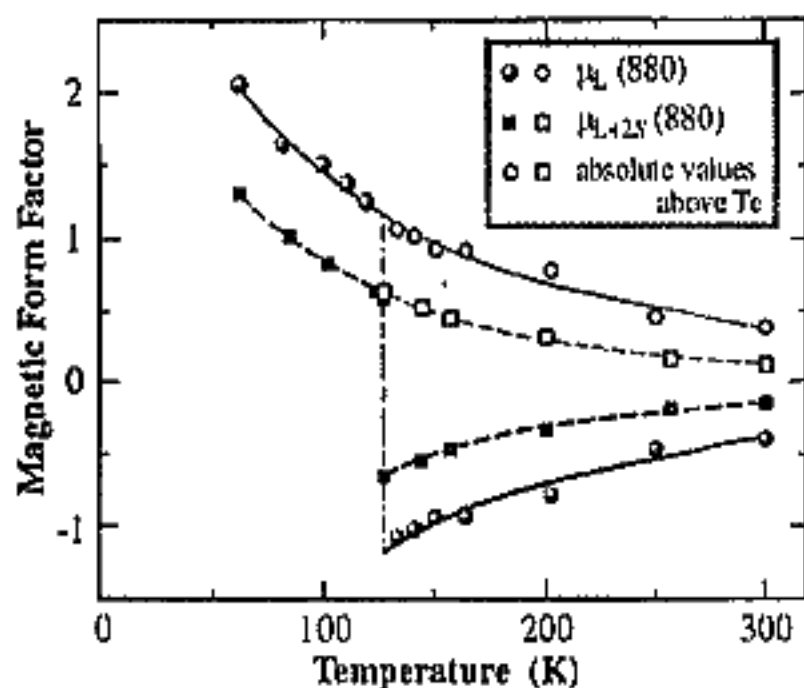


図 7

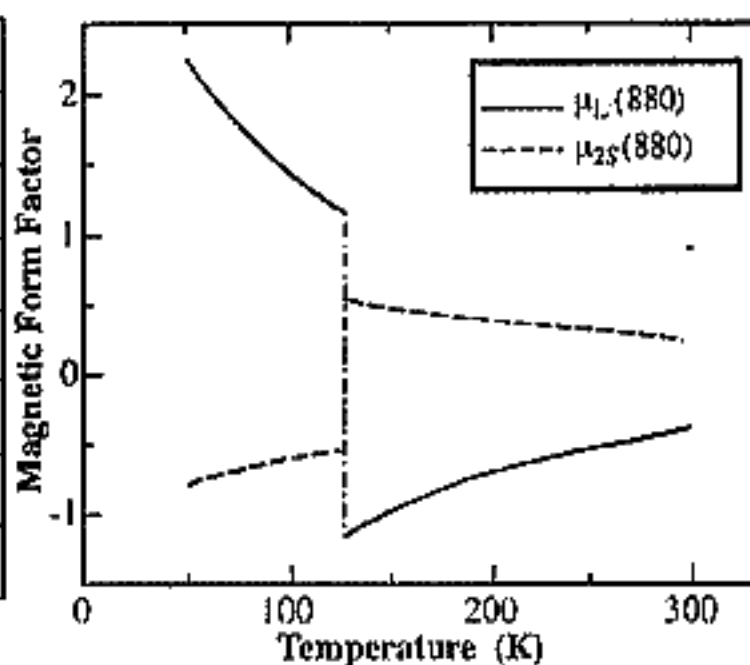


図 8

(5) 蛍光X線による超微量元素分析

蛍光X線分析による超微量物質の検出能力を飛躍的に向上させる技術を開発し、ニッケル、鉄、コバルトなどの検出限界の記録を更新した。従来の検出器に代えて新しく開発した湾曲結晶分光器を用い、エネルギー分解能とS/N比を大きく改善し、ニッケルの検出限界を4フェムトグラム（fg）に更新した。（図9）

図10は、鉄、コバルト、ニッケル、それぞれ百万分の2%を含む水溶液1滴（1万分の1ミリリットル）を、シリコンウエハ上に滴下、乾燥させた後、測定したスペクトルを示す。

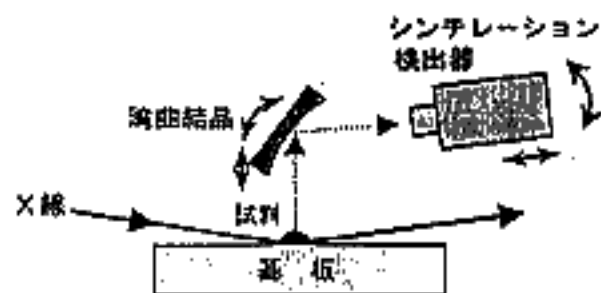


図 9 全反射蛍光X線分析法の原理

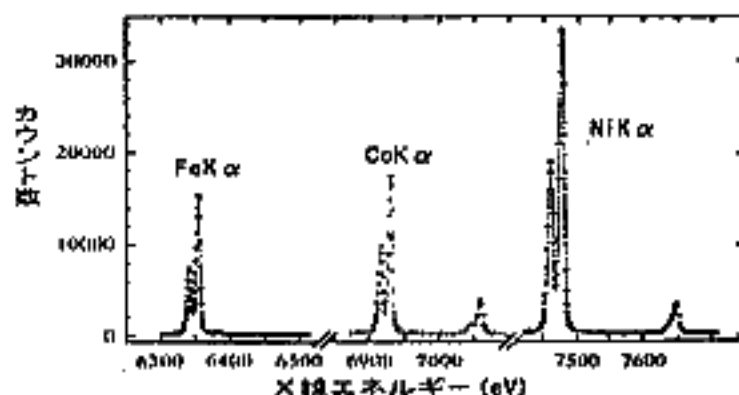


図 10 蛍光X線スペクトルの測定例

(6)

SPring-8 では、APS や ESRF と同様に、生体高分子結晶構造解析が主要課題の一つとなっている。その目標は、原子レベルで生体高分子の立体構造を明らかにすることである。SPring-8 放射光は光源が小さく、ビームの平行性が良く

- (a) 従来 X 線結晶構造解析が困難であったような細かな針状結晶もしくは板状結晶を用いた構造解析、
- (b) 大きな単位格子をもつ巨大な生体高分子の結晶構造解析、
- (c) 任意のエネルギーのビームを使う多波長異常回折法による迅速・自動電子密度解析による構造解析、
- (d) 第 2 世代放射光源よりも低いバックグラウンドの回折計を使った高空間分解能の分子構造解析、
- (e) 高フラックスによる過渡的な構造の追跡、が可能となっている。

(7) 産業利用

Li イオン電池電極材料の開発、次世代磁気ヘッド用 GMR 膜の製作条件を同定するための nm 多層膜の精密構造解析技術の開発、化合物半導体素子の局所歪解析を利用した波長多重伝送用光学素子の発光特性向上などの成果が得られているが、一例として Li イオン電池電極のサイクル劣化原因の解明を、電池セルでのその場 (in situ) 評価を XAFS を用いて行った。用いた電池セルの概念図を図 11 に示す。XAFS スペクトルの解析結果から、 NiO_6 八面体の歪の復元力の減少が Li イオン充放電を制限していることを明らかにした。(参考文献 5)

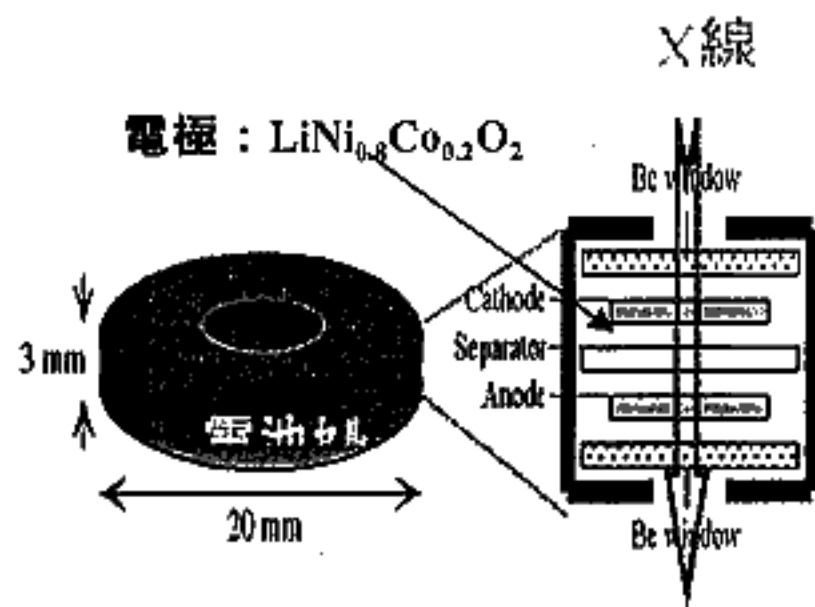


図 11 リチウム電池セル

5. おわりに

SPring-8 は国内外の幅広い利用者に開かれた共同利用施設である。SPring-8 は物質科学、生命科学、環境科学などの基礎研究分野において重要な研究手段であるが、産業利用においても多彩な利用の可能性を有している。21世紀においても、中性子線、レーザーなどと相補的に重要な研究手段の一つであり、基礎研究のみならず、ナノテクノロジー、情報、ライフサイエンス、環境など、日本においてこれからの科学技術の発展のために重点的に進めようとしている分野でも大きな貢献ができるものと考ええる。

(参考文献)

- (1) M.Takata et al., Nature 408(2000)426.
- (2) M.Takata et al., J.Phys.Soc.Japan, 70(2001)2252.
- (3) K.Funakoshi et al., SPring-8 Research Frontiers, 1999/2000(2000)42.
- (4) M.Ito et al., SPring-8 Research Frontiers, 1999/2000(2000)33.
- (5) T.Nonaka et al., J.Synchrotron Rad., 8(2001)869.



＜基幹エネルギーで二酸化炭素の排出量も少ない＞

・国内で52基の原子力発電所を抱え、発電容量は計4574万キロワット。全発電電力量の3分の1以上を占める基幹エネルギーで、エネルギー資源に乏しい日本にとっては得難い存在

・地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出量が少ない。1キロワット時当たりの二酸化炭素排出量（炭素換算のグラム数）は原子力が5・7に対し、LNG火力178、石油火力200、石炭火力270、水力4・8、太陽光16、風力34などとなっている。ほとんど水力と同程度と考えていい。1988年から政府は「地球温暖化防止のために原発が必要」と言い続けている

・プルトニウムを使いこなす核燃料サイクル計画が実現すれば、ウラン資源の有効利用が進み、さらに安定したエネルギー源になる

＜原子力開発の現実＞

・国内で原発の建設が進まない。政府は2010年度までに原発20基の新增設で原発の発電容量を7050万キロワットにするとうたっていたが、今は2010年度までに10～13基新增設と修正。この実現すら非常に厳しいとされる

・「もんじゅ」事故（1995年12月）前の1995年の原子力白書は「国民の原子力に対する不信任、不安感が依然として払拭されていない」「原発の発注ベースは大幅に落ち、産業界にとっては苦しい状況が続いている」と分析していた。この時よりもさらに厳しい状況になっており、原子力産業は斜陽化に向かっている。優秀な人材が集まらなくなったという現実もある

・「もんじゅ」の運転再開ができず、高速増殖炉開発のめどが立たないほか、MOX燃料の検査データのねつ造発覚などでプルサーマルの実施がいつから可能になるのか分からない。高速増殖炉でも軽水炉でもプルトニウムを利用できなければ、必然的にプルトニウムがたまり、「余分なプルトニウムは持たない」という国際公約を守れなくなる

・東海地震が起きた時に中部電力浜岡原発の安全性はどうなのかという疑問が地震学者の中からも出ている

・青森県六ヶ所村で商業用再処理工場の建設が進むが、「本当に運転できるのか」という声が高まっている

・使用済み核燃料がたまって原発が運転中止に追い込まれるのを避けようと考え出された中間貯蔵にも大きな進展はない

＜なぜ逆風が吹くのか＞

・安全性の問題が大きい。1979年の米国スリーマイルアイランド原発事故、1986年の旧ソ連チェルノブイリ原発事故の後遺症は大きい

・その後に日本でも「もんじゅ」事故や動燃再処理工場事故（1997年3月）が起きた。両事故では事故対応のお粗末さに加えて、ビデオ隠しや虚偽報告が明るみに出て、原子力開発に国民の厳しい目が向けられるようになった

・沸騰水型原発の配管の溶接工事に関して改ざんされた記録が国の指定検査機関に提出されたり、使用済み核燃料の輸送容器に使われる放射線遮蔽材の検査データが改ざんされていることなどが表面化した。モラルハザードは動燃だけでなく、原子力産業の中でも起こっていた

・さらに1999年9月にはJCO東海事業所で日本で初めての臨界事故が発生した。一時は自治体から周辺住民に避難や屋内退避の要請が出され、大量の放射線を被ばくした3人の従業員のうち2人が後に相次いで放射線障害で死亡した。旧科学技術庁だけではなく、原子力安全委員会の責任も問われた

・放射性廃棄物に対する国民の反発も大きい。特に高レベル放射性廃棄物をどこにどの

ように処分するののかという大問題が残り、原子力の「トイレなきマンション」という実態に変わりはない。高レベル廃棄物に対しては気の遠くなるような長期監視が必要になる

- ・産業廃棄物処分場などごみ問題でもそうだが、情報公開の不十分さなどもあって国民の「嫌な施設を近くに建てられるのは困る」という意識が高まっている

<重い3度の住民投票の結果>

- ・各種アンケート結果を見ると国民の原子力離れは顕著だが、原発関係の3度の住民投票では反対派が3連勝し、原子力推進にブレーキをかけた
- ・1996年8月に新潟県巻町で行われた原発建設の是非を問う住民投票では反対61%、賛成39%だった
- ・2001年5月に新潟県刈羽村で東京電力柏崎刈羽原発のプルサーマル受け入れの是非をめぐる住民投票が行われ、やはり反対が投票総数の半数を超え、住民はプルサーマル実施を拒否した
- ・2001年11月には三重県海山町で原発を誘致するかどうかを問う住民投票が実施され、住民の3分の2もが反対票を投じた。原発賛成派が前面に出た異例の住民投票だったが、直前に中部電力浜岡原発の事故が起きたこともあって反対派の圧勝となった
- ・もはや「原発マネー」を幾ら積んでも新規立地は難しいかもしれない。資源エネルギー庁は「エネルギー問題は住民投票になじまない」と言うが、一方で住民の意思を無視するわけにはいかないことは明白だろう

<今後の進むべき道は>

- ・原子力開発は「技術的な安全だけではなく、国民が安心できなければならない」とよく言われるが、政府や電力会社の「安全で安心」に向けての不断の努力が欠かせない
- ・原子力をめぐるさまざまな課題の解決に誠実に対応し、国民の理解を求めていく以外に道はない。キーワードはあくまでも「地道に、誠実に」だろう
- ・破たん寸前に陥った核燃料サイクル計画を根本的に見直すべきだ。このままいくと再処理工場が完成しても稼働せず、計画中のMOX燃料工場を含め壮大な無駄に終わる可能性がある。その負担は国民に跳ね返る。使用済み核燃料を再処理せずにそのまま高レベル放射性廃棄物として処分することを有力な選択肢の一つにすべきだ。循環型社会実現を目指したリサイクルを原子力でやろうとしても技術的に無理があるだろう
- ・仮に今、核燃料サイクル計画の見直しや放棄を宣言すると「青森県や原発立地県が納得せず、原子力行政は大混乱に陥る」という心配があるようだが、原子力研究開発利用長期計画にこだわっていたのでは問題は先送りになるだけだ。傷口を大きくしないように再処理工場の建設断念などの決断は早ければ早いほどいい
- ・今は安全性に十分気をつけて軽水炉の運転に専念すべきだろう。その軽水炉の新增設で地元の詳細が得られなければ、ドイツやスウェーデンのように次第に原発縮小の方向に向かうのはやむを得ない
- ・太陽光発電、風力、地熱、バイオマス、燃料電池など再生可能エネルギーを含む新エネルギーの開発にもっともっと国の予算を使うべきではないか。いまだに原子力開発優先の予算編成を行っているのはおかしい
- ・温暖化防止のために原子力推進という考え方はもう世界的には通用しない。過度に原発に頼らなくても温室効果ガスの削減目標を達成する必要がある
- ・原子力やエネルギー問題で社会的な議論を尽くすことが課題だろう。その際には原子力に批判的、中立的な専門家や一般の人の意見も十分聞き、原子力、エネルギーに関するさまざまな情報の公開を徹底して行うことが大前提になる。これまでは原子力ファミリーの中だけで議論し、何が何でもプルトニウムの利用を図るんだと考えたつげが回ってきたことを忘れてはならない
- ・原子力行政にかかわる経済産業省や文部科学省のほか、原子力委員会、原子力安全委員会、原子力安全・保安院の責任は重い。拡大路線一方の原子力政策を転換し、軽水炉の安全確保に万全を尽くすべきだ。電力自由化で原発のコスト面の将来性にも疑問が出ており、電力会社も決断を迫られている



原子力発電所との共存共栄

Coexistence and Co-prosperity with Nuclear Power Plants

敦賀市長 河瀬 一 治

THE MAYOR OF TSURUGA KAWASE KAZUHARU

私の愛する敦賀市は、環日本海地域の窓口として存在してきた「貿易・海運・交通産業」や「漁業・海産物加工産業」、また国のエネルギー政策に大きく貢献している「エネルギー産業」などバラエティに富んだ産業が地域と共に発展しており、現在の人口は約 69,000 人で、面積は 250.74 km²である。さらに、日本三大松原のひとつ「気比の松原」、日本三大鳥居のひとつがある「気比神社」などから想像出来るよう、風光明媚で自然と歴史に恵まれた土地柄であり、日本有数の美しく住みやすい町と評価されている。

現在、敦賀市では日本原電㈱敦賀発電所 1 号機(BWR)、2 号機(PWR)、サイクル機構ふげん(ATR)、もんじゅ(FBR)と 4 基の原子力発電所が建設され、日本原電㈱敦賀 3、4 号機(APWR)建設計画も進められている。現在ある 4 基の原子力発電所は原子炉の炉型が全て異なるという、世界でもめずらしい立地状況となっており、敦賀市は原子力立地行政については先駆的な役割を果たしている自治体でもある。

敦賀市のみならず原子力立地市町村は、安全確保を大前提に、国のエネルギー政策に協力し、もって地域の振興・住民福祉の向上を図ることが基本方針である。現在、日本には約 3,200 の市町村があるが、全てに共通することといえば地元の地域を振興・発展させたいということであり、それを推進することが自治体首長の責務であり、また、基本的使命である。

私の原子力に対する政治姿勢は、安全確保を大前提に、原子力と地元が共存共栄を図り、「原子力発電所があつてよかった」といえる地域振興を目指している。敦賀市が原子力発電所の誘致を決定した昭和 37 年当初、原子力発電所は地域の発展に大きく貢献すると期待され、市議会では原子力発電所誘致決議が満場一致でなされた。以来、約 40 年の間、原子力発電所とともに歩んできたが、時にはトラブルにより大変つらい思いを幾度となく経験した。環境への放射能の影響がないトラブルの時でも、我々地元は観光・農業・漁業面等多方面にわたり、大きなイメージダウンを被るのである。一旦トラブルが起これば、まわりからはあたかも災害の発生地として見られ、肩身の狭い思いをすることも珍しくない。エネルギー資源の脆弱な我が国にあって、これほどエネルギー源の確保に協力している自治体が忸怩たる思いを強いられることは耐え難い。

我々立地自治体の願いは、全国民から冷ややかな目で見られるのではなく、国の重要なエネルギー政策に地元が懸命の努力をしていることを認められ理解されることである。国民が原子力エネルギーを利用しているのが日本の現状であり、エネルギー確保は国の発展にとって大変重要な課題であるので、エネルギー情勢・原子力利用について正しく理解することは国民の義務とも言えるものである。原子力関係者が安全確保に最大限の努力を払うことは当然のこととして、全国民がエネルギーや原子力について正しく理解する社会環境が実現されることを強く望み、敦賀市も自信と誇りを持って、原子力と共存共栄する街づくりを進めていきたい。



原子力利用に関する市民とのコミュニケーションで

検討が必要な課題への私見

Nuclear Energy and Communicating with Citizens:
Personal Views on What Should be Addressed

消費生活アドバイザー 碧海 酉葵
AOMI YUKI

1. はじめに 原子力及び原子力学会と私自身の関わりについて。
2. この場合の市民は生活者という意味、消費者とはことなる。原子力関係者は、女性と男性、職業人としての生活と私的生活の大きな違い、専門家（たとえば、学会会員）と一般人の違い、政策決定や施行に関わるものと民との違いを、どれだけ実感をもって認識しているか。生活者にとって＜原子力＞との距離ははかり知れないほど大きく、原子力に関する国民世論といわれるものの背景に生活実感はない。昭和 38 年に原子の火がともって以来、情報は事故のニュースと不可分な関係で提供された。将来を決める時期の子を持つ親が、原子力専攻をやめさせようとするような現在の社会状況で、原子力による電力供給が 40% というのは実は日本の未来を考えると怖いことである。女性の人口が男性を上回り、今後もその差が開いていく中で、原子力の平和的利用といいながら、新聞の世論調査ではそれに対する女性の支持がほとんど下がりっぱなしであることをもっと重視すべきであろう。
3. エネルギーの生産地としての原子力発電所所在地であっても、総量としてみればエネルギーの大消費地である都会であっても、家庭や個人の生活のレベルで消費するエネルギー量には基本的には差はない。むしろ、気候、住居形態、家族数、交通の便・不便などによって差があるのは当然のことで、まさに生き方、暮らし方、ライフスタイルによる差だといえる。WEN（ウイメンズ・エナジー・ネットワーク）の「暮らしとエネルギー」プロジェクトが行った＜家庭におけるエネルギー消費の実態＞からメンバーが学んだことは多く、生活者とのコミュニケーションは、まずは生活に密着したエネルギーの話題からと確信している。エネルギーについてのコミュニケーションに必要なのは、ひとりひとりが、自分の生活の中で、どんなエネルギーを、どんな風に、どれだけ使っているのかを把握することであって、それがわからないままに、建前として原子力利用や燃料の安全性、新エネルギーの有効性の是非論をやっても、空疎な議論になるだけだ。立地と消費地のコミュニケーションに関しては、もちろん、大消費地の住民が、みずから納める税金という形で、どれだけ原子力利用や立地の地域振興の問題に関わっているのかも当然知らせる必要がある。
4. 生活の豊かさ、快適さを求めながら、一方で一般市民の多くは原子力利用を危険で、出来れば無い方がよいと考える。そして、その嫌悪感や恐怖感と、放射能や放射線に関する情報不足、理解不足は切っても切れない関係にある。WENはコミュニケーションのテーマとして、昨年秋以来「暮らしと放射線」をとりあげ、その第 1 歩として原子力発電所の立地と、消費地を代表する大都会の一般女性を対象としたアンケート調査を行い、1000 通を越す回答を得た。意見・感想の書き込みからみても、20 代から 60 代、70 代にいたるごくあたりまえの女性達の実感がこもっていて、今後の活動に寄与する多くの示唆を含むものである。