

01

PNC TN 7420 92-018

公開資料

旧東独WISMUT社ウラン鉱業汚染の 浄化修復現地調査報告書



1992年6月

動力炉・核燃料開発事業団

公開資料

PNC TN7420 92-018

1992年 11月

旧東独WISMUT社ウラン鉱業汚染の浄化修復現地調査報告書

*1 音村圭一郎 *2 浅野智宏 *3 高田雄次

要旨

本資料は旧東ドイツ南部地域で、WISMUT社による過去45年間にわたるウラン鉱業活動によりもたらされた環境汚染に対して、ドイツ政府が実施している浄化修復の現況を現地調査したものである。修復には今後15年以上の歳月を要すると考えられており、現在は緊急を要する環境対策工事が一部実施されている段階で、長期的な修復計画作成のための調査、試験の段階であった。従って記述内容は、鉱山、製錬所の現況と将来計画の考え方方が主体となっている。

修復の全体計画、各々の修復方法、コスト、モニタリング等詳細については、今後さらに関係機関より情報を収集していかなければならない。

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31
動力炉・核燃料開発事業団
中部事業所 技術開発課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Exploration and Mining Technology Development Section,
Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
959-31,Sonodo,Jourinnji,Izumi-tyou,Toki-si,Gifu 509-51,Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation) 1992

*1 人形峠事業所 環境資源開発部 環境資源開発課
*2 安全部 安全管理課
*3 中部事業所 鉱床解析室

目 次

1. はじめに	1
2. 調査の目的	2
3. スケジュール及び訪問者	4
3.1 調査スケジュール	4
3.2 訪問者	4
4. 調査の成果	5
4.1 凈化修復作業の現状の調査	5
4.2 環境保全対策上の問題点の把握	5
4.3 放射線安全、環境保全に対する考え方の把握	6
4.4 その他の情報	6
5. 旧東ドイツのウラン鉱業の概要	7
5.1 ウラン鉱業の概要	7
5.2 WISMUT社の概要	7
5.3 Sachsen州、Thuringen州、Sachsen-Anhalt州の状況、浄化修復計画	8
6. Königstein鉱山	11
6.1 訪問スケジュール	11
6.2 位置・交通	11
6.3 経緯と現状	12
6.4 浈化修復の考え方と実施状況	17
6.5 その他	19
7. Aue 鉱山	20
7.1 訪問スケジュール	20

7.2 位置・交通	20
7.3 経緯と現状	20
7.4 処理修復の考え方と実施状況	21
7.5 その他	23
8. Ronneburg 鉱山	24
8.1 訪問スケジュール	24
8.2 位置・交通	24
8.3 経緯と現状	24
8.4 処理修復の考え方と実施状況	26
8.5 その他	28
9. Crossen 製錬所	30
9.1 訪問スケジュール	30
9.2 位置・交通	30
9.3 経緯と現状	30
9.4 処理修復の考え方と実施状況	32
10. Seelingstädt 製錬所	33
10.1 訪問スケジュール	33
10.2 位置・交通	33
10.3 経緯と現状	34
10.4 処理修復の考え方と実施状況	35
11. 一般的な事項	36
12. おわりに	40
13. 参考資料(写真)	41

目 次 (図・表)

表-1 WISMUT社ウラン鉱山施設の現状	5
表-2 WISMUT社の概要	8
表-3 現在鉱山後処理を行っている鉱山施設	8
表-4 鉱山地域住宅のラドン測定結果	9
表-5 環境基準	10
表-6 エルベ河取水点での水質調査(1990, 1991年)	17
表-7 Mulde 河取水点での水質調査(1990, 1991年)	22
表-8 Ronneburg 鉱山における放射線量率測定結果	28
表-9 処理済廃液組成	34
図-1 Thüringen, Sachsen州のウラン鉱山調査地域	4
図-2 Sachsen州, Thüringen州, Sachsen-Anhalt州の汚染容疑地区	9
図-3 Thüringen, Sachsen州ウラン鉱山位置図	11
図-4 Königstein鉱山周辺図	12
図-5 Königstein鉱山地下水脈模式図	14
図-6 坑内インシチューリーティング模式図	14
図-7 鉱石ブロックのリーチング準備模式図	15
図-8 Aue 鉱山周辺図	20
図-9 Ronneburg 鉱山周辺図	24
図-10 Ronneburg 鉱山坑内模式図	25
図-11 廃棄物の覆土植栽試験模式図	27
図-12 Crossen 製錬所周辺図	30
図-13 Seelingstädt 製錬所周辺図	33

目 次（写真）

1. Königstein鉱山	41
写真- 1 Königstein鉱山遠景、左側捨石堆積場	
写真- 2 Königstein鉱山坑廃水処理施設、シックナーと沈澱池	
写真- 3 Königstein鉱山ヒープリーチング場	
写真- 4 Königstein鉱山捨石及びヒープリーチング鉱さい堆積場	
2. Aue 鉱山	42
写真- 5 Aue 鉱山付近の捨石堆積場より付近を望む	
写真- 6 Aue 鉱山の捨石堆積場の1つ	
写真- 7 Aue 鉱山の古い堆積場	
写真- 8 Aue 鉱山陥没地（手前）と捨石堆積場（後方）の整形、覆土、植栽工事	
3. Ronneburg 鉱山	43
写真- 9 Schmirschau鉱山付近の捨石堆積場、後方Lichtenberg 露天掘鉱山	
写真- 10 Paitzdorf 鉱山遠景	
写真- 11 Lichtenberg 露天掘鉱山ピット、後方Schmirschau鉱山	
写真- 12 Lichtenberg 露天掘鉱山、捨石堆積場頂上よりピットを望む	
4. Crossen 製錬所	44
写真- 13 尾鉱堆積場よりCrossen 製錬所を望む	
写真- 14 Helmsdorf 鉱さい堆積場堤体と漏洩水	
写真- 15 Helmsdorf 鉱さい堆積場全景、直径約2kmの大きさ	
5. Seelingstadt製錬所	45
写真- 16 Seelingstadt製錬所全景	
写真- 17 Culmitzsch鉱さい堆積場全景	
写真- 18 Seelingstadt製錬所ボールミル	
写真- 19 Culmitzsch鉱さい堆積場（右 アルカリ浸出用、左 酸浸出用）	

1. はじめに

1990年東西ドイツの統一後、旧東ドイツ内のウラン鉱業による環境汚染状況が新聞、雑誌等で断片的に取り上げられた来たが、実体ははっきりしたものではなかった。

1991年7月10日、ドイツ連邦共和国政府は、過去40年間にわたる旧東ドイツ国内で行われたウラン鉱業活動によりもたらされた環境汚染について、現状と対策についてとりまとめ中間報告として公表した。これにより、実態はその規模の大きさと対策はかつて経験したことのない技術を必要とすることが判明した。これの浄化修復には今後10年以上の歳月と膨大な資金が必要と思われる。現在は、鉱山の操業を中止し、緊急を要する事項を除き、長期的な修復計画を策定するための調査や試験を行っている段階にある。動燃はウラン鉱山環境保全技術開発を進めるため、情報の収集と調査を目的に現地に調査団を派遣した。今回の情報収集は今後引き続き調査するにはタイミング的にもよい機会であった。短い調査日程のうえ非常にタイトなスケジュールで一通りの施設を見て廻ったという感はあったが、充分成果を得ることが出来たものと思う。これは、現地調査するにあたり、坑内、製錬所、鉱さいダム等現場中心に案内をしていただいたこと、更には写真、ビデオの撮影については制限されることなく有益な情報収集が出来たことによる。

全施設について、一編の資料ももらえなかつたこともあって、個々の詳しい情報は得られなかつたが、今後の動燃における、環境保全対策に関する技術開発や安全管理を進める上で基本的な方針を決定する上で大変意義深いものになり、現地調査の有効性が確認された。今後は、WISMUT鉱山に関してはある点に絞ってじっくりと調査することが望まれる。また、すでに鉱山の処置が行われている米国、カナダ、オーストラリア等のウラン先進国にも調査を実施していく必要があると思われる。今回のWISMUT鉱山訪問に当たって各鉱山の責任者には心よく施設を見せていただき、熱心に説明して頂いた。ドイツInteruran社のRosenkranz氏にはWISMUT社各鉱山の訪問計画作成に始まり、訪問の予約、ホテルの手配、Frankfurt空港での出会いから Dresden空港での別れまでの車での案内、ドイツ語の通訳、仕事の合間の町中の案内、夕食でのメニューの説明、ドイツ国内の社会情勢の情報伝達まであらゆる面についてお世話になった。ここに感謝の意を表したい。

2. 調査の目的

ウラン鉱山の開発および後処置には、世界的な環境問題及びICRP新勧告により、今後の環境保全を意識した更なる安全性が要求され、今後も益々厳しくなっていくと予想される。また、動燃事業団としても、海外の調査探鉱を推進し、その成果を国内の民間企業に円滑に引き継いでいくためにもウラン鉱山の開発から後処置までの一連の環境保全対策の技術の習得、開発が必要である。そこで、平成3年度に国際部を中心にして、ウラン資源探鉱開発に係わる研究開発5ヶ年計画を作成し、この中で最重点テーマとして環境保全技術開発を位置づけた。

一方、世界的な東西冷戦構造の終結により、1990年10月3日東西ドイツが統一し、今までヴェールに覆われていた旧東ドイツの実情が次第に明らかになってきた。その結果、旧東ドイツの南部において、特に第2次大戦後大規模なウラン鉱山が開発されたが、それが広範囲にわたるウラン汚染を引き起こし、現在その後処置に大きな関心が払われているという情報が断片的に入手されるようになって来た。

そのウラン汚染地域は、現在統一ドイツ政府が管理し、フランス、カナダ等のウラン鉱業先進国の環境保全技術を適用して進めることとなっており、参考になる技術的知見は多いと思われた。また旧東ドイツは統一により、長い間のソ連による支配から解放されたところであり、また住民の権利意識も低く組織的な反対運動も起きていない。従ってWISMUT社のガードもそれほど堅くないので調査に最適の時期であると考えられた。当時、事業団の資源開発担当理事の田中がドイツのウラン探鉱会社Interuran社の社長と会談した折、WISMUT鉱山の話を持ち出され、同社の仲介を得て当地を訪問する機会を得ることができた。

今回の旧東ドイツWISMUT社の鉱山施設を調査した目的は、動燃事業団がこれから実施するウラン鉱山の開発に伴う環境保全及び後処置に伴う環境保全技術開発に関する計画立案に際して、有益な情報を収集調査することにある。収集する情報にはWISMUT鉱山汚染地域に関して全般的に次のものがある。

- ① 現地の汚染状況
- ② 安全評価方法、安全基準等政府の安全に対する考え方
- ③ 処理修復計画の内容スケジュール、進捗状況
- ④ 住民の意識、PA活動等

また、環境保全対策技術に関して、次の事項を現地調査することにした。対象は鉱さい堆積場、坑廃水処理施設、露天採掘場跡、坑内掘坑道閉塞箇所、捨石堆積場、地上施設全般にわたるが、これから動燃が技術開発を行う予定の鉱滓堆積場及び坑廃水処理施設について重点的に調査を行うことにした。

- ① 鉱さい堆積場については鉱さいの処置計画、特に処置場の流出防止等の安定化に関する事項
- ② 坑廃水処理施設については、処置方法や処理水の組成を中心とした情報

3. 調査スケジュール及び訪問者

3.1 調査スケジュール

- 5月9日（土） Frankfurt着
 5月10日（日） Frankfurt発→ Dresden着
 5月11日（月） Königstein鉱山
 5月12日（火） Aue鉱山 Crossen製錬所
 5月13日（水） Ronneburg鉱山 Seelingstadt製錬所
 5月14日（木） Dresden発

図-1にThüringen, Sachsen州のウラン鉱山調査地域を示す。

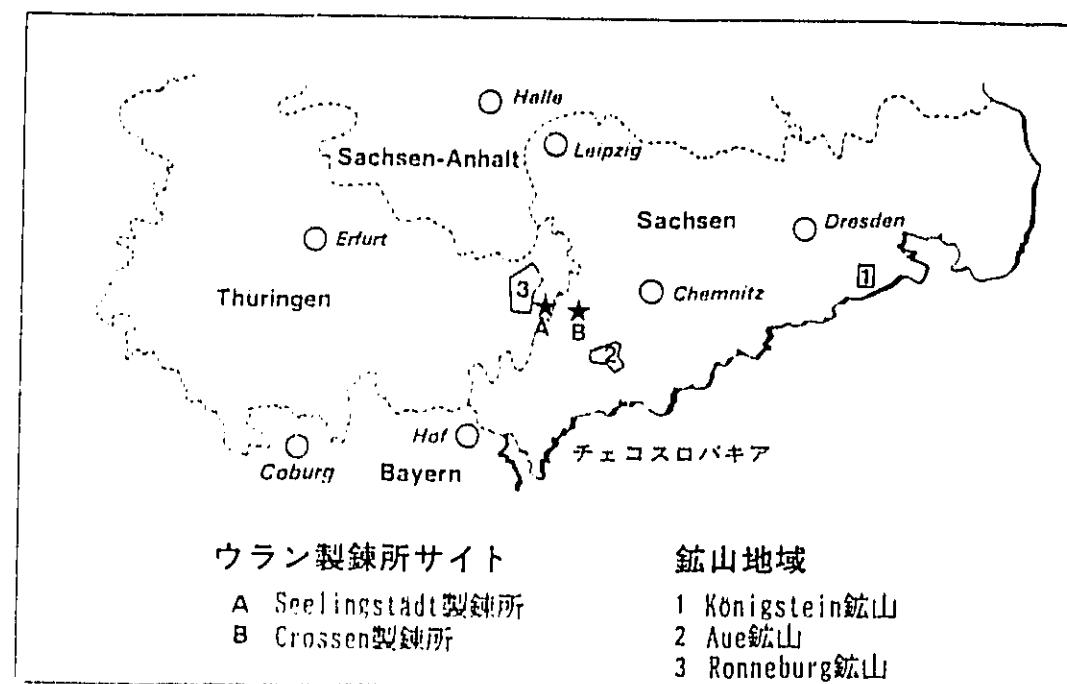


図-1 Thüringen, Sachsen州のウラン鉱山調査地域

3.2 訪問者

- | | | |
|--------|-------------|-------------------|
| 音村 圭一郎 | 人形峰事業所 | 環境資源開発部 環境資源開発課長 |
| 浅野 智宏 | 本社 安全部安全管理課 | 主査 |
| 高田 雄次 | 中部事業所 | 鉱床解析室 (日本鉱業㈱より派遣) |

4. 調査の成果

今回のWISMUT鉱山調査の成果をまとめてみると以下のとおりである。

4.1 処理修復作業の現状の調査

ウラン鉱業による汚染の処理修復作業の状況を知るには現地を見ることが一番である。

今回WISMUT社各鉱山を訪問し、調査した結果は表-1のとおりである。

表-1 WISMUT社ウラン鉱山施設の現状

Königstein鉱山 ・インシチューリーチング ・ヒープリーチング ・廃水処理場、沈澱池 ・鉱さい堆積場	1992年末に生産終了予定 運転中 運転中 運転中 一部修复工事実施中
Aue 鉱山 ・捨石堆積場	1990年生産終了 修复工事中
Crossen 製錬所 ・捨石堆積場 ・鉱さい堆積場	1989年閉鎖 修复工事中
Ronneburg 鉱山 ・捨石堆積場 ・露天掘跡地 ・表土堆積場	1990年生産終了 露天掘跡地に埋戻し中 " " "
Seelingstadt製錬所 ・製錬所 ・鉱さい堆積場	後処置のための操業継続 使用中

また、この詳細は事前に動燃が NUKEM社に委託して調査させたWISMUT社に関する報告書とほぼ一致していることを確認した。

4.2 環境保全対策上の問題点の把握

ドイツ政府、各州政府及びWISMUT社が取り組んでいる環境保全対策の方針及び今後の研究開発課題は、動燃事業団がこれから実施しようとしている環境保全対策に関する技術開発課題を策定する上で最も参考になる項目である。これを簡単にまとめてみると次のようになる。

① WISMUT鉱山の処理修復方針

- | | |
|----------|-----------------|
| イ. 坑道 | 坑道密閉、水没、坑内水揚水処理 |
| ロ. 露天掘跡地 | 埋戻し、覆土、植栽 |

ハ. 捨石堆積場	溶出防止処置 露天掘跡に埋設 集約、整形、覆土、植栽
ニ. 鉱さい堆積場	集約、脱水、覆土、植栽
ホ. 製鍊所	解体、選別、露天掘跡に埋設、売却

② WISMUT鉱山における研究開発問題

イ. 鉱さい堆積場の処置	鉱さい中の水分の脱水 ダムの安定性評価 浸透水の地下水への影響
ロ. 坑道閉塞	坑内水へのウラン・ラジウム溶出防止 坑内水の地下水、地表水への浸透、流出防止
ハ. 捨石堆積場の処置	ウラン・ラジウムの溶出防止 地下水、地表水の汚染調査方法

4.3 放射線安全、環境保全に対する考え方の把握

会見の相手が放射線管理の専門家ではなかったため、詳しくは聞けなかつたが、放射線安全に関する考え方は、もちろん日本の原子力施設のように厳しくはないが、かといってまったくルーズでもない。ウラン鉱山としては、妥当であると思われた。

環境への排水、鉱さい、捨石の処置方法は、かつてはかなりルーズにやられた面もあるが、統一後のドイツ政府の管理のもと、厳格に対処して行こうという姿勢が感じられた。

4.4 その他の情報取得

その他に得られた情報の主なものとしては次の項目が挙げられる。

- ・各鉱山の歴史、周辺住宅地の様子、面積・規模等現状の概要
- ・坑内インシチューリーチング法(Königstein)、製鍊プロセス概要(Seelingstädt)
- ・旧東独の社会情勢、復旧状態

5. 旧東ドイツのウラン鉱業の概要

5.1 ウラン鉱業の概要

ドイツの Sachsen州とチェコスロバキアとの国境にあるErzgebirge(鉱石山脈)地域で、鉱物の採鉱が中世に始められた。15世紀に大規模な銀鉱床が発見され、開発された。これらの鉱床にはピッチブレンドを伴うことが多かったが、その当時、使用されないウラン鉱石は鉱山施設や住居の近くの地表に堆積され、建物や道路等の建設に利用された。

19世紀にはウランはガラスや磁器の色付け用として用いられ、この地域でもガラス製造業者により利用された。第2次世界大戦まではこの地域の鉱山活動はあまり重要ではなかった。ヒットラー軍事政権はこの地域の鉱産物であるビスマス、コバルト、タンクステンを生産し、副産物のウラン鉱石は核計画の研究用に使用された。ヒットラー軍事政権は1945年5月に敗れ、核計画は中止された。ソ連軍は Sachsen州 Thüringen州を含む5つの州を占領し、東ドイツとした。第2次世界大戦後、ソ連は Schneeberg周辺のウラン鉱床の調査を1945年夏に開始した。1946年6月、旧東ドイツにおいてソ連の原子爆弾を製造するためのウランの供給を目的としたWISMUT社が設立され、以降1990年末までウラン鉱山の操業を継続してきた。この結果、鉱さい堆積場、捨石堆積場、放棄された鉱山跡地等環境への負荷となるものが多数残されることとなった。

5.2 WISMUT社の概要

WISMUT社とその活動は1990年の終りまで西側の世界にはほとんど知られなかった。これは事業活動がソ連軍用ウラン生産のため、特に機密保持が徹底されていたためと思われる。

同社は1946年6月、ソ連により設立され、その後1954年1月には、資本金はソ連50%、旧東ドイツ50%とされた。1990年10月3日東西ドイツ統一に伴い旧東ドイツ所有の株式はドイツ政府に移り、ウラン採鉱が西側の基準に照らして採算性が全くないことからドイツ政府とソ連政府は1990年末までに操業を休止することで合意した。1991年5月にはソ連所有の残りの50%の株式はドイツに譲渡され、ドイツ政府が100%の株式を所有する企業となりWISMUTという会社の名前はそのまま引き継がれた。

かつてのWISMUT社の事業の特殊性は政治、経済、社会的な制約から完全に独立していたことである。社長は常にソ連人であり上級管理職のほとんどはソ連人であった。WISMUT社はウラン採鉱に必要な機械、設備、建物等全て自身で提供出来る部門を持ち、立坑掘削、運搬設備の建設についても自ら行っていた。また鉱石や資材輸送も行ない従業員用のバス

も運行させていた。病院も運営し、警察・安全部門も持っていた。ドイツ政府所有後1991年8月に同社は鉱山部門と他の部門に分割され鉱山部門は鉱山後処理作業に従事することとなった。

以下かつてのWISMUT社の概要を表-2、現在鉱山後処理を行っているWISMUT社所有の施設を表-3に示す。

表-2 WISMUT社の概要

設立目的 資本金 製品 事業活動 従業員 生産量	ソ連軍用ウランの生産 45億ドイツマルク ウラン精鉱(ウロカキ)の生産、以降のプロセスはソ連で実施 Sachsen州、Thüringen州等でのウラン独占的生産 累計 500,000人(1950年代 100,000人、1990年 39,000人) 1946~1990年 216,500tU、全量ソ連に輸出
---	---

表-3 現在鉱山後処理を行っている鉱山施設

鉱山 製鍊所	Königstein鉱山, Aue鉱山, Ronneburg鉱山 Crossen製鍊所, Seelingstädt製鍊所
-----------	---

5.3 Sachsen州、Thüringen州、Sachsen-Anhalt州の状況、浄化修復計画

① 状況

WISMUT社は1946年よりSachsen州、Thüringen州、Sachsen-Anhalt州で鉱山を操業してきた。この鉱山操業に起因する汚染施設は次の通りである。

- ・閉鎖したウラン鉱山と製鍊所跡
- ・鉱石積出施設や中間貯蔵場跡
- ・捨石堆積場と製鍊鉱さい堆積場
- ・産業廃棄物堆積施設
- ・汚染物質(捨石と製鍊鉱さい)を使用した場所(道路等)

これらの汚染に加え、Erzgebirge地方には、古くからの金属鉱山に起因する汚染も存在している。なお、汚染容疑地区を図-2に示す。

- ・立坑、横坑 約 280カ所
- ・鉱石積出施設 約 180カ所
- ・捨石堆積場 約 3,000カ所(内 800~1,000カ所がウラン鉱山)
- ・廃滓沈殿池 15カ所
- ・浅部採掘済空間 約 2,000カ所

汚染調査対象地区

- ・16地区、合計 1,200km²、製鍊所 9カ所

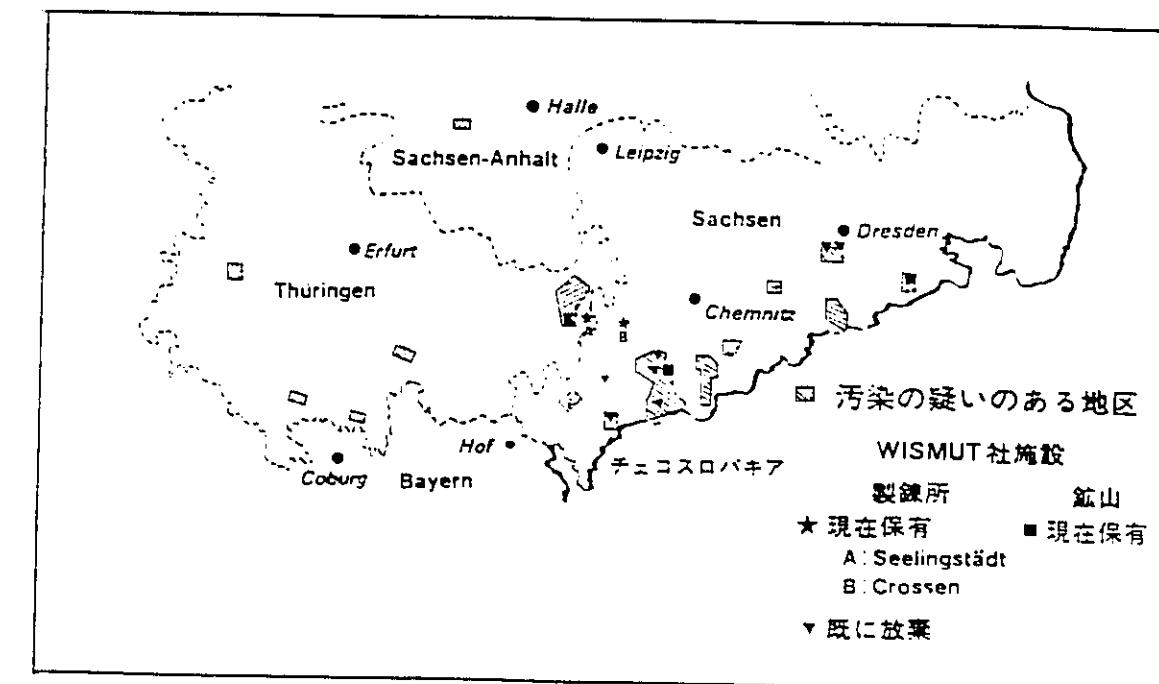


図-2 Sachsen州、Thüringen州、Sachsen-Anhalt州の汚染容疑地区

② ドイツ政府が実施した調査結果

ラドン

- ・WISMUT社施設周辺の長期測定結果、同一地質条件でのバックグラウンドは100Bq/m³に対し、施設周辺では40~360Bq/m³の値であった。
- ・施設の直近で最大測定値を検出した。
- ・住宅汚染

鉱山地域の住宅を測定した結果は表-4のとおりである。

表-4 鉱山地域住宅のラドン測定結果

都市	250Bq/m ³ 以上	最大値	原因
Schneeberg	50 %	100,000(Bq/m ³)	銀鉱山
Ronneburg	15	—	ウラン鉱山
Schlema	8	2,000	ウラン鉱山

河川

- ・鉱山からの排水を放流している河川水系の水質監視(U、R a)を実施している。
- ・1990年の測定値は鉱山操業が停止したことから、河川水中のウランとラジウム濃度が低減した。

・鉱山排水は水質に影響を与えていたが、劇的な水質の変化は認められなかった。

被害

・人に対する被害状況は公表されていない。

③ 処置修復計画

・放射線防護委員会は、判断基準として表-5の環境基準を示した。

表-5 環境基準

汚染地区利用制限規制	表面濃度	0.2Bq/g
屋内ラドン濃度	基準値 緊急処理実施基準	250Bq/m ³ 15,000Bq/m ³
施設スクラップ溶解基準		0.5Bq/cm ³

・処置責任

WISMUT社現有施設は、WISMUT社（連邦政府）が対策を実施することとし、その他の施設については連邦政府、州政府が責任を有する。

・処置対策の現状

将来の処置方針は下記の通りである。

- * 汚染物質の集約
- * 堆積場、沈殿池の被覆
- * 地下水汚染地での地下水の揚水、浄化

また処置を行うに当たっては下記事項を充分に検討することとしている。

- * 景観、現地の環境に溶けこめること
- * 公衆の衛生と安全に対する危険が排除されること
- * 発生源から生じる継続的な汚染を減少させること
- * 永久的なもの(100年以上)、維持管理が最小となること
- * コスト効果のあるもの
- * 用地外への汚染物移動は行わない

住民の安全のために必要な当面の処置は、暫定的に実施している。長期計画については作成中であり、計画作成に必要なサイト調査を実施している。

・処置期間・経費

所要期間は10~15年間で必要経費は100億ドイツマルク（8,000億円）以上必要だとしている。

6. Königstein鉱山

6.1 訪問スケジュール

5月11日（月） 説明案内：Lothar Rosenhahn 生産部長 他2名

9:30~10:30	鉱山と復旧の紹介
10:30~13:00	坑内見学：立坑(ケーブル) - 175mL・硫酸循環パイプ立坑・インシチュリーチング準備立入掘進現場・坑内水pHモニター設置カ所・インシチュリーチング切羽 — 立坑で坑外へ
13:00~14:00	昼食
14:00~15:30	坑外見学：ヒープリーチング設備・廃石堆積場・坑廃水処理施設
14:30~16:00	質疑

6.2 位置・交通

Sachsen州、Dresden市の東南約30km、いわゆるElbesandstone山地のElbe河沿いにKönigstein鉱山はある。

Dresden市から車で172号線により1時間足らずで鉱山に至る。途中は典型的なヨーロッパの田園風景が続く。鉱山付近は緩やかな丘陵地となっており、その中にメサ（地卓）があちこちに残っている。Elbe河までは1kmの距離であり、鉱山の正面には1つのメサを利用して作った中世の城郭が聳えており、周辺は林、果樹園、牧草地、農地となっている。付近には住宅は少なくKönigstein村までは1~2kmの距離である。図-3にThüringen, Sachsen州のウラン鉱山位置図、図-4にKönigstein鉱山周辺図を示す。

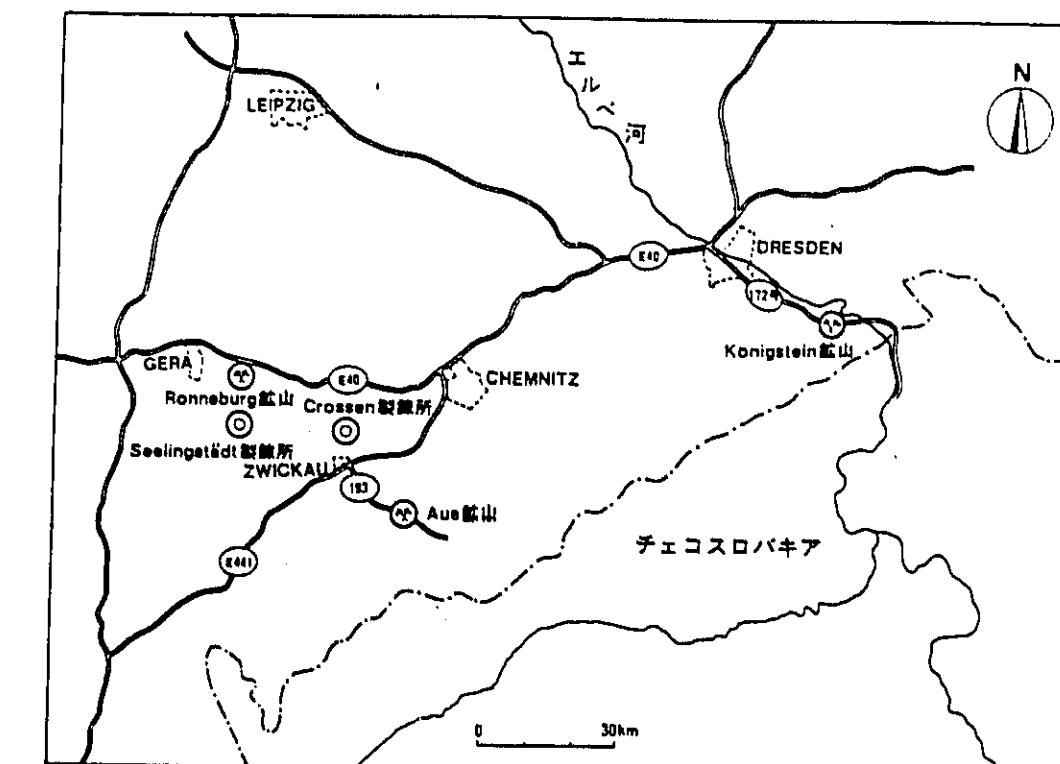


図-3 Thüringen, Sachsen州ウラン鉱山位置図

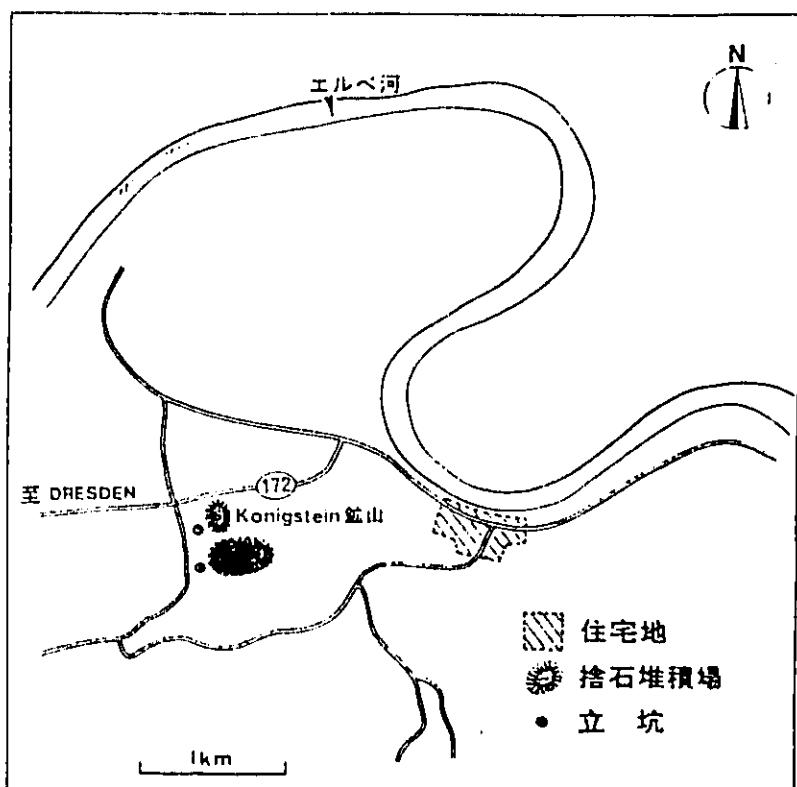


図-4 Königstein鉱山周辺図

6.3 経緯と現状

6.3.1 経緯

Königstein鉱山は、元来、石炭鉱山であったが、1961年ウラン鉱床がこの地に発見され、ウラン鉱山として操業された。

鉱床は砂岩タイプで母岩は上部白亜系の砂岩及びシルト岩である。ウラン鉱物はピッチブレンドである。鉱床賦存範囲は南北5km、東西1.5km、厚さ数mから10数mで、深度は地表下160~270mで北に緩く傾斜している。埋藏量は24,000tU、品位は0.1%Uであった。そこから1990年の終りまでに約18,800tUが採掘された。

鉱山の歴史は1964年開発に着手されたことから始まる。1966年坑内採掘（ルームアンドピラー）により操業は開始された。1969年には坑内インシチューリーチングが導入された。採掘した鉱石と鉱山サイトで品位を高めたウラン濃縮リーチング溶液は200km離れたSeelingstädt製錬所に輸送し、イエローケーキに加工された。1972年の生産実績は、出鉱量50万tでインシチューリーチング分を含めウラン量1,000tであった。1981年にはウラン生産量の25%は坑内インシチューリーチングからのものとなり、1984年コストの面からルームアンドピラー採掘は中止された。坑内インシチューリーチングの切羽準備のため

生じる雑鉱は坑外でヒープリーチングによりウランの回収を行っている。1990年閉山を決定し、現在閉山準備作業を行っている。

今回、坑内インシチューリーチング現場を見学することができた。坑内はよく清掃されており、整理整頓も立派になされていた。以下採鉱設備等について気付いた点を記す。

・採鉱設備

坑内設備は、かつてルームアンドピラーによる採掘を行っていたため、立坑等運搬設備は現在もそれに見合う能力のものとなっている。設備は古いものが多いが整備状況は良い。

- ・立坑は鉱石、人員、資材運搬用として5、通気用として7設備ある。
- ・主要レベルは地表下200mを基準として25m, 50m, 94m, 135mの4レベルとなっている。坑道断面は3m×3m、坑道総延長は40kmとなっている。坑道支保は坑木が主体で局部的にルーフボルト打設、モルタル吹き付け等が行われている。
- ・坑内運搬は2m³鉱車とバッテリーロコによる。切羽付近では一部LHDも導入されている。
- ・坑内排水量は約10m³/minでpHは1.8である。坑内12ヶ所にpHメータを設置、常時モニタリングすることにより効率的な坑水処理を行っている。
- ・通気は分歧点に二重の通気扇を設け、管理は確実に行われている。坑内温度は20°C前後であった。
- ・坑内用粉塵マスクは使用されていないが、坑内火災用簡易救命器を携帯した。坑内にはほとんど粉塵はなかった。

6.3.2 汚染状況

Königstein鉱山の主要な汚染源は、①採掘に伴う地下水汚染、②ヒープリーチング鉱さい及び捨石堆積物による土壤汚染、③その他老朽設備である。現在、可溶性のウラン鉱石を回収し水没後に地下水が汚染されることを防止するため坑内インシチューリーチングを実施中である。また坑内水は揚水し処理後エルベ河に放流している。また、捨石堆積物は整形後覆土植栽を行っており特に問題は生じていない。今後、汚染発生が予想される事項の詳細は次の通りである。

① 地下水汚染

鉱山付近には地下水脈が4層ある。上部2層は鉱床から離れており鉱山操業に影響されていない。第3層と第4層がエルベ河に連絡している。第3層が飲料水の水源として利用されている。第4層は鉱体中を通っている。第3層と第4層は粘土層により

分断されていたが、採鉱活動により連結された状態となっている。インシチュリーチングの適用により、数百万m³の溶液が使用され、鉱体中の1200万m³以上の岩石空隙中に、高濃度のウラン・ラジウムを含む硫酸溶液が100万m³残存することとなった。

図-5にKönigstein鉱山地下水脈模式図、図-6に坑内インシチュリーチング模式図を示す。

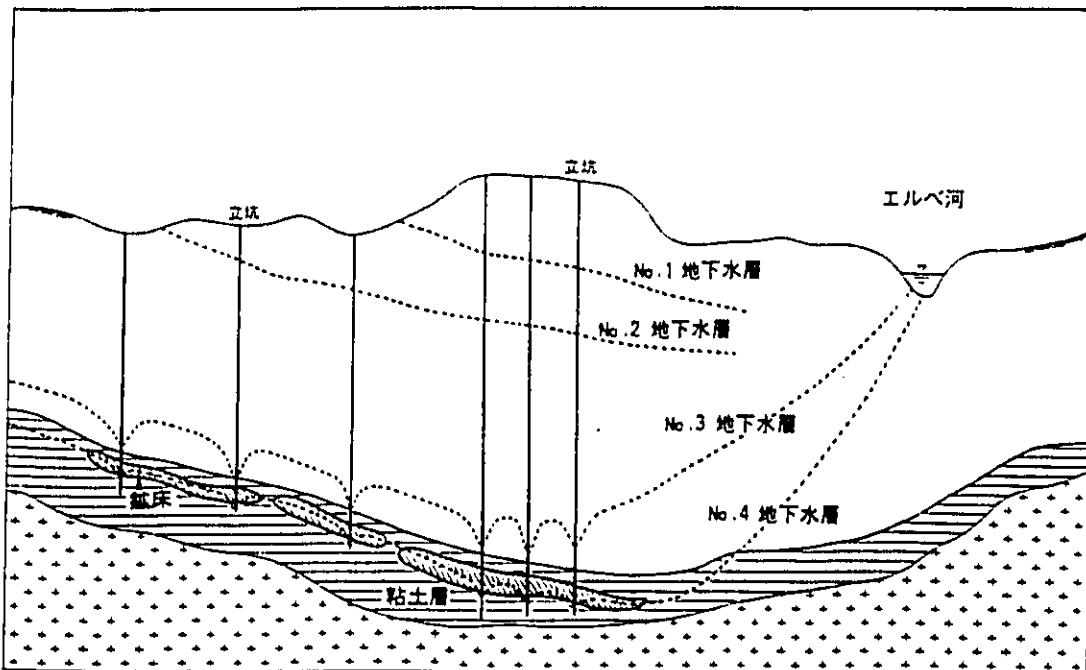


図-5 Königstein鉱山地下水脈模式図

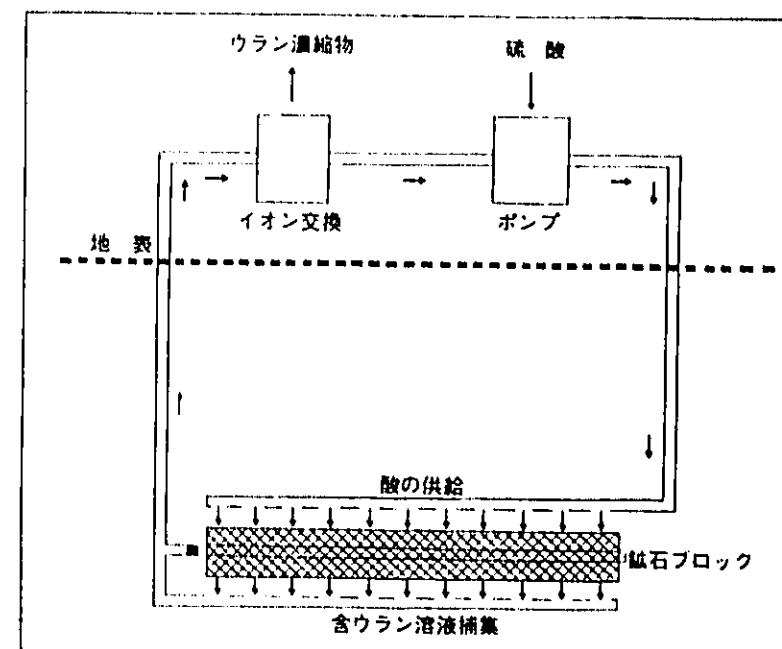


図-6 坑内インシチュリーチング模式図

② 捨石堆積物

ヒーリーティングからの浸出鉱さいが鉱山サイトにある捨石堆積場に堆積されている。現在、本堆積場は25haの面積を占め約3百万m³の容積となっている。これらには残留ウラン・ラジウム等の放射性核種を含んでいる。

③ その他

鉱山周辺部にかつての漏鉱や放射能に汚染された老朽建造物がある。

6.3.3 坑内インシチュリーチング

本法は鉱石の採掘、坑外搬出を行わず、ウランを坑内で浸出し回収するものである。

図-6に示す通り、鉱体の浸出ブロックに浸出準備を行ない、そこに硫酸をポンプで圧入する。硫酸により鉱石からウランを浸出させ、浸出ブロックの下部でウランを含む浸出液を捕集する。これを坑外の濃縮施設へ圧送する。

Königstein鉱体は鉱体の上下盤に不透水性粘土層があることからインシチュリーチングに適している。鉱石部に透水性の不良な箇所もあるが、この場合は発破し、人工的に亀裂を発生させることにより浸出を行っている。その概略を図-7に示す。

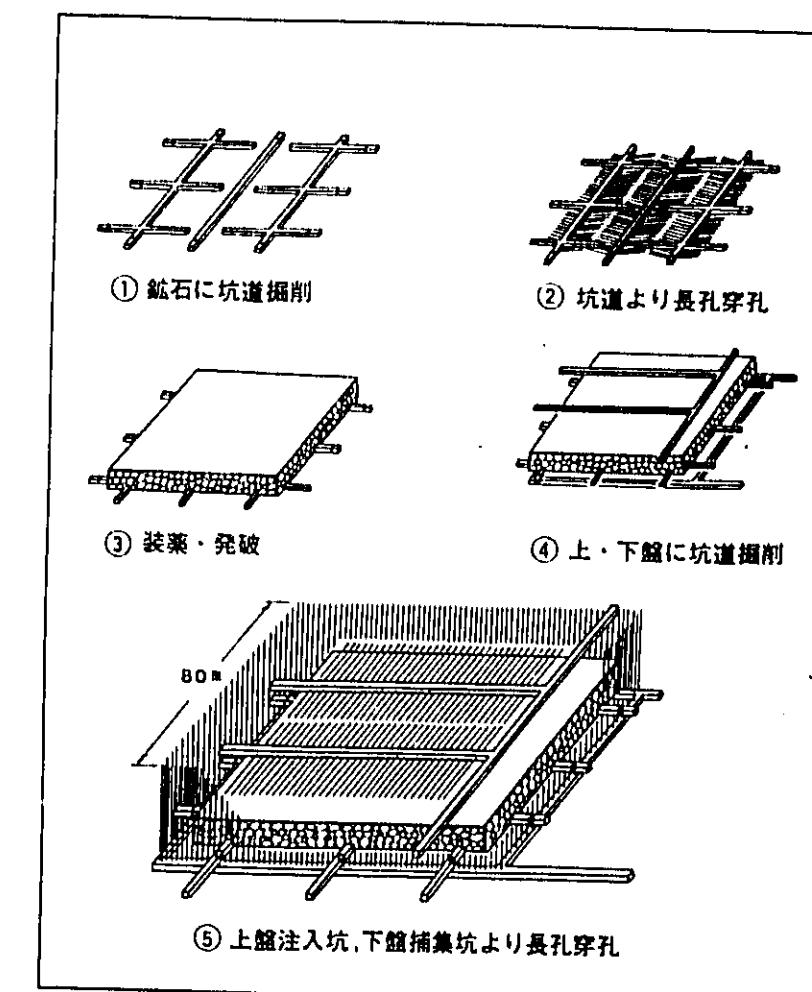


図-7 鉱石ブロックのリーチング準備模式図

1浸出ブロックの大きさは、巾80m、長さ80~120 mである。まず浸出ブロック（鉱画）の下盤側に坑道を掘削する。坑道から発破用長孔を穿孔する。長孔に装薬し発破する。発破した浸出ブロックの上部に硫酸注入用坑道を掘削する。また浸出ブロックの下部に浸出液を捕集するための坑道を掘削する。硫酸注入用坑道及び浸出液捕集坑道から浸出効率を高めるため長孔穿孔を行う。1浸出ブロックの段取りには2~3年必要である。

硫酸循環量は80万m³、1時間当たり 600m³としている。

坑内外を結ぶパイプラインはレイズボーラーにより掘削した立坑を利用している。6インチステンレスパイプ4本により坑外から硫酸溶液を坑内に流送し、減圧する。各孔への圧入は孔毎に最適の圧力を決定し圧入する。

浸出捕集坑道からのウランを溶かし込んだ貴液は坑道を密閉し、数本の3インチボリパイプで収集し、ポンプにより坑外へパイプ流送する。坑外の濃縮施設で貴液をイオン交換塔に通してウランを抽出し、硫酸を回収し坑内へ戻している。濃縮施設は坑内からの貴液を貯めるプールとイオン交換設備が主要な設備で製錬所に比べると小規模なものである。生産物は200km離れたSeelingstadt製錬所へ輸送し、そこでイエローケーキに加工している。

今年度の生産量は400tUの予定である。

6.3.4 ヒープリーチング

坑内インシチューリーチングの場合、浸出のための準備坑道掘削に伴う雑鉱が発生する。この雑鉱は坑外へ搬出され、ヒープリーチングによりウランを回収している。残留ウラン、ラジウム等の放射性核種を含む浸出鉱滓は隣接する捨石堆積場に堆積されている。ヒープリーチングで回収されているウラン量は坑内インシチューリーチングの10%程度である。

ヒープリーチングの方法はヤード(50m×50m)上に雑鉱を粉碎することなくそのまま1.5メートルの高さに積み上げ、上から硫酸溶液を散水器で均等に注ぎウランを浸出させている。浸出させた貴液は坑内インシチューリーチングからの貴液と共にイオン交換塔に通してウランを抽出し、硫酸を回収し再度使用している。浸出終了には4ヶ月間必要である。浸出後の鉱さいは水洗し堆積する。

6.3.5 廃水処理施設

インシチューリーチング及びヒープリーチングでウランを浸出しているが、この方法で

浸出したウラン溶液はイオン交換法で吸着溶離して濃縮する。この時発生する抽出廃液は、坑内水と一緒に処理する。また一部は、硫酸を添加してヒープリーチング又はインシチューリーチングにリサイクルを使用する。一方溶離したウラン溶液は1段目でpHを7~8に調整し、温度を70°Cにして、まず鉄を沈殿させ、次に温度を40°Cにしてウランを沈殿させる。最終的には、ウランは沈殿のまま160kg-U/m³の濃度のスラリー状態でタンクローリに入れてSeelingstadt製錬所に運び、イエローケーキにする。

抽出廃液や坑内水にはウラン、ラジウムといった放射性物質や砒素のような非放射性の有害物質が含まれている。Königstein鉱山ではこれら廃液に塩化バリウムを添加し、硫酸バリウムと沈殿物を含んだ廃液は、沈殿池又はシックナーで静置沈降している。放流の水質については、州政府が監視している（表-6）。

表-6 エルベ河取水点での水質調査(1990, 1991年)

	実施値	限界値
pH	6~9	6~8.5
SS (mg/l)	19	90
Sulfate (mg/l)	1,590	2,000
Chloride (mg/l)	850	2,000
Iron (mg/l)	6.5	10
Uranium (Bq/l)	7.6	21.2
Radium (Bq/l)	2.12	5.5

6.4 净化修復の考え方と実施状況

閉山後、処置を必要とする事項は水没後に生じる採掘跡からの地下水の汚染と捨石堆積場からの浸出水による汚染である。

これらの処置方針と技術的な問題は下記の通りである。

6.4.1 地下水汚染対策

・鉱床周辺部に残存する可溶性ウランの回収

これは現在行っている坑内インシチューリーチングにより目的を達成することとしている。問題は残存硫酸溶液による再汚染の問題である。

- ・ウランを含有する残留硫酸溶液の除去

この作業も既に実施されている。水洗と中和により行っている。除去結果の長期モニタリングの必要がある。

- ・坑内機械修理場のオイル・グリス等汚染物質の除去

実施済み

- ・第3水脈と第4水脈の採鉱活動による貫通箇所の閉塞

坑道密閉、グラウト等により実施しているが、漏洩のチェック等が必要。完全止水は困難であろう。

坑内水没

世界的に見てもウラン鉱山でこのような大規模な例はない。来年、テストを行ない結果を見ることとし、結果が思わしくない場合は国際的に知恵をかり計画を検討することになる。水没後の水位上昇に伴う地下水の流れの変化と水質をモニタリングし、基準値以上であれば揚水処理を継続する必要がある。少なくとも水没後10年は処理が行われることになると思われる。

6.4.2 捨石堆積場対策

- ・整形、覆土植栽

1 km²の植栽は完了し、現在も整形、覆土植栽を継続中である。鉱山周辺の漏鉱等の汚染物はヒープリーチングを行ない鉱さいは捨石堆積場へ堆積している。浸出水はモニタリングを行ない、処理の必要なものは処理場で処理を行っている。

6.4.3 実施状況

1991年上半期に実施した浄化復旧工事

・立坑、横坑の油脂類等の清掃	8 km
・立坑、横坑のプラグによる密閉(水没量)	4,000 m ³
・坑内ダム構築	127箇所
・建造物解体(鋼材 787 t)	1式
・廃石掘削除去	11,000 m ³
・掘削後埋戻し	4,000 m ³
・操業サイト清掃	1式

1991年下期以降も引き続き、坑内外の浄化復旧作業が継続されており、今後の長期処置計画作成のためのサイト調査、モニタリングが実施されている。

6.5 その他

Königstein鉱山では、対応者が鉱山技師であり、放射線管理の専門技師でなかったため、放射線の状況の詳細を把握することはできなかった。堆積場を見学した際、ラドン濃度のレベルについて質問したが、特に問題となるレベルではないとの返事があった。なお、事業団が Nukem社に委託した報告書においては、屋内のラドン濃度のレベルとして、10~40 Bq/m³の値が記載されている。

また、坑内施設案内の後、坑内水処理方法、pH等についても管理の状況に関する質疑を行った。放出限度としては、ラジウムが2ppm、ウランが0.85mg/lが定められており、これらの測定については、州政府(State Authority)も測定しているが、限度の80%から60%程度の値となっており、問題はないとの回答であった。また、エルベ河ではグリーンピースも測定を行っているが、彼らも特に問題としていないとのことであった。周辺住民とのパブリックアクセシビリティの問題の有無を確認したが、特に問題は生じておらず、環境調査局(Environmental Review Board)の調査結果でも問題ないとされているとのことであった。

なお、Königstein鉱山からの帰路、車中でのRosenkranz氏との会話によると、排水の放出限度の数値の内、ラジウムの限度については、対応者が鉱山技師であったことから、管的的な数値は単位が間違っている可能性が高いとのことであった。なお、同氏の所属する Interuran 社では、排水の放出限度については、ラジウム、ウラン等の3核種の合計値で限度が定められているとのことであった。

また、同氏の話によると、Cogemaは、連続型の線量率計、ラドンモニタ等を搭載したモニタリング車を有しており、Dresden から Königsteinにかけての地域で広域走行サーベイを行ったことがあるが、一時的に線量率が異常に高い地点が観測されたことがあるとのことであった。

7. Aue鉱山

7.1 訪問スケジュール

5月12日(火) 説明案内: Christoph Rudolph生産技師長
10:00~10:45 鉱山と復旧の紹介
10:45~12:30 採鉱施設案内: Schlema 鉱山社宅・ケービング地区修復現場 ・捨石堆積場
12:45~13:30 昼食後 Crossen製錬所へ

7.2 位置・交通

Sachsen州、Chemnitzの南西約30kmにある。Chemnitzから車で国道441号線を南下し、Zwickauを経由し約1時間で鉱山に至る。鉱山付近はなだらかな山地となっており、あちこちに古くからの捨石堆積場や立坑のヤグラが目につく。特に住宅がこれら鉱山設備と混在しており、古くからの鉱山町であることを偲ばせる。

DresdenからChemnitzまでは約60kmでアウトバーンにより結ばれている。WISMUT社の本社はChemnitzにある。

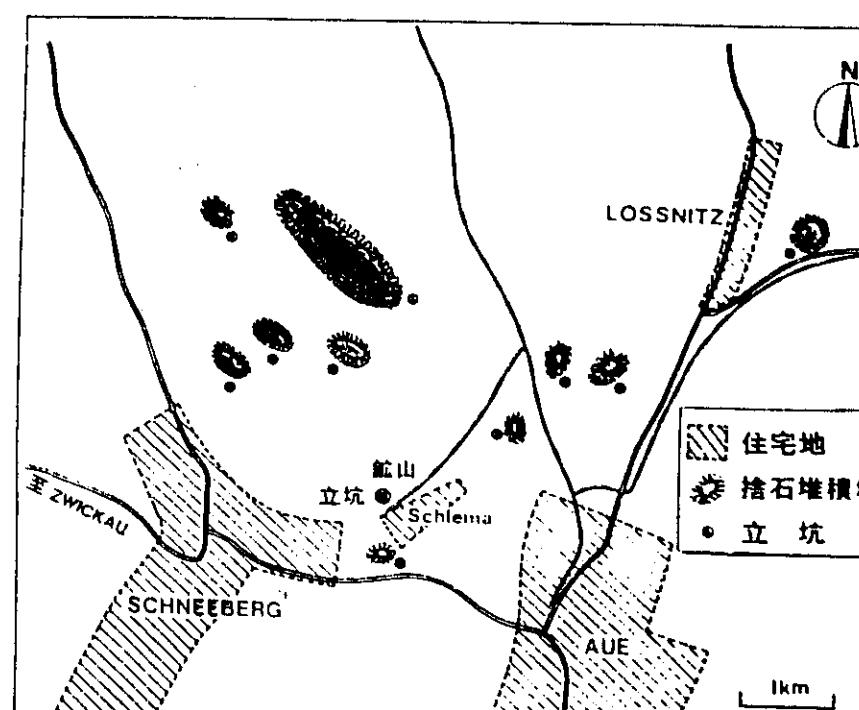


図-8 Aue 鉱山周辺図

7.3 経緯と現状

7.3.1 経緯

WISMUT社のウラン鉱山開発はエルツ山地である当地域で1946年に小規模なスケールで

始められた。当地域は14世紀に銀が採掘されて以来、1930年代にはビスマス、コバルト、タンクステン、鉛等が生産された。ウランはこれらの副産物として産出していた。

鉱床はVariscan花崗岩接触部近傍の熱水鉱脈状で深度は1,900mをこえるものもある。主要ウラン鉱物はピッチブレンドで随伴金属鉱物としてコバルト、ニッケル、ビスマス、銀を伴う。埋蔵量はウラン量で88,000t、品位0.4%でこのうち81,000tが採掘されている。鉱脈タイプの鉱床としては世界最大のものの1つである。

1960年の初期には、比較的浅い地表下200mまでを対象としてシェリングケージにより採掘が行われたが、最終的には深度1,900mに達した。坑道総延長は4,000kmおよび採掘量は4,500万tに達する。最下部の採掘切羽は岩盤温度70°Cに達し坑内冷却が必要となった。鉱石、人員、資材の輸送は立坑中継のため時間のロスが大きく能率低下の原因となった。深部では盤圧が大きくなり、コスト的に制御困難な状態となってきた。また坑内排水量は760m³/hに達し、消費電力量は膨大なものとなった。

鉱石は1940年代の終りまでは鉱山に付帯した小規模な製錬設備で重力選鉱により処理を行ったが、1950年に入りCrossenまた、1960年にはSeelingstadt製錬所に送りウランの回収を行った。

1990年生産を中止し、坑内外の清掃、立坑・横坑の密閉、坑内水没を開始した。

Aue鉱山地域にはスクープトラム、鉱車、パンコンベア等の鉱山機械の製造・修理のための工場や立坑開削や鉱山操業に必要なサービスを行う部門がおかれていた。

7.3.2 汚染状況

Aue鉱山地域は中世からの銀の採掘と1946年以降WISMUT社によるウラン採鉱により巨大な坑内空洞と多くの捨石堆積場が生じた。この結果、

- ・地下水の汚染
- ・堆積物による地下の土壤の汚染
- ・地表の陥没部等採掘空間からラドンの家屋内への侵入の可能性が予想される。

7.4 処理修復の考え方と実施状況

7.4.1 地下水汚染対策

Aue鉱山は古くから採鉱活動が行われ、坑内状況が明確に把握されていない。坑内で各鉱山は連結されており、また立坑、斜坑、採掘箇所等が地表に貫通している。

従って、坑内を水没した場合、水位上昇に伴い多くの場所から坑内水が流出する可能性がある。

現在考えられているのは、立坑、横坑等にプラグを打設し、地下水が地表へ浸透しない水位である-200mまで水没し、以降は揚水処理する案である。

既に水没は開始されており、8～9年後に水没は完了する見込みである。周辺部に多数の鉱山があり、坑水処理は集約し合理的なものにする計画を持っている。

表-7 Mulde河取水点での水質調査(1990, 1991年)

	実績値	限界値
pH	8.2	6.5～8.5
SS(mg/l)	10.8	20
Sulfate (mg/l)	450	700
Chloride(mg/l)	52	100
Iron(mg/l)		2
Arsenic (mg/l)	0.11	0.30
Uranium (Bq/l)	29.3	60
Radium(Bq/l)	0.26	0.8

7.4.2 捨石堆積場対策

中世以来からの堆積物がある。大規模露天掘が行われていないので巨大な堆積物はないが、規模の小さいものが多数ある。調査結果、ウラン品位の高いものは再処理を行っている。

急傾斜の状態(1:1.3)にあるものは整形し緩傾斜(1:3)にし、覆土植栽を行っている。

7.4.3 建造物のラドン対策

ラドン濃度については、元来バックグラウンドの高い地域であり、鉱山サイト内は300 Bq/m³程度、居住地区は100Bq/m³程度である。

ラドン発生のある地表貫通部の埋戻しを行ない植栽を行うこととしている。陥没部は既に埋戻し工事が進められており、植栽も一部終了している。その他、付近の建物の20%が古くからの堆積物を使用しているため、屋内のラドン濃度が高くなっているものがある。当面 15,000Bq/m³をこえるものは解体撤去することとし、既に一部実施された。

7.4.4 実施状況

1991年上期に実施された暫定的な処置

- ・立坑、横坑の清掃 145km
- ・坑内ダム構築 137ヶ所
- ・立坑、横坑のプラグ密閉(水没量) 11,000m³
- ・建造物解体(鋼材 321t) 1式
- ・捨石掘削除去 558,000m³
- ・埋戻し 656,000m³
- ・操業サイト清掃 1式

サイト調査としては、住宅等建造物が採鉱活動により地表沈下を起こしたため傾いているものがあるとのことで、ボーリングにより地下空洞の調査を行っていた。

7.5 その他

堆積場、安定化工事に状況について見学した際に、安定化工事の土壌の厚さについて質問した。最終的に植栽する植物の種類に依存しているが、通常は0.5m厚さであり、植栽地については1.5m程度のところもあるとのことであった。

また、Aue鉱山地域におけるラドン濃度について質問したところ、当該地域は、元来、バックグラウンドレベルの高い地域であり、敷地内の鉱業用地では300Bq/m³程度、居住地区では100Bq/m³程度との回答があった。なお、これらの数値は、Nukem報告書に記載されているAue鉱山地区の1990年のラドン濃度測定結果である50～370 Bq/m³と同レベルである。

8. Ronneburg鉱山

8.1 訪問スケジュール

5月13日（水） 説明案内： Dietmar Jacob環境部長

9:00～10:00 鉱山と復旧の紹介

10:30～12:00 Lichtenberg鉱山・中央堆積場・Gessen堆積場・オープンピット跡

12:00～13:00 昼食

午後は引き続き Seelingstadt製錬所と Culmitzsch鉱さい堆積場を見学

8.2 位置・交通

Thüringen州、Geraの東方6kmにある。Chemnitzからは国道40号線で東へ50km、車で約1時間で到達する。鉱山付近には大きなズリ山と立坑ヤグラが見える。鉱山には鉄道が走っており、主要輸送手段は鉄道であったものと思われる。鉱山周辺はなだらかな平野で住宅と畑、牧草地となっている。図-9にRonneburg鉱山周辺図を示す。

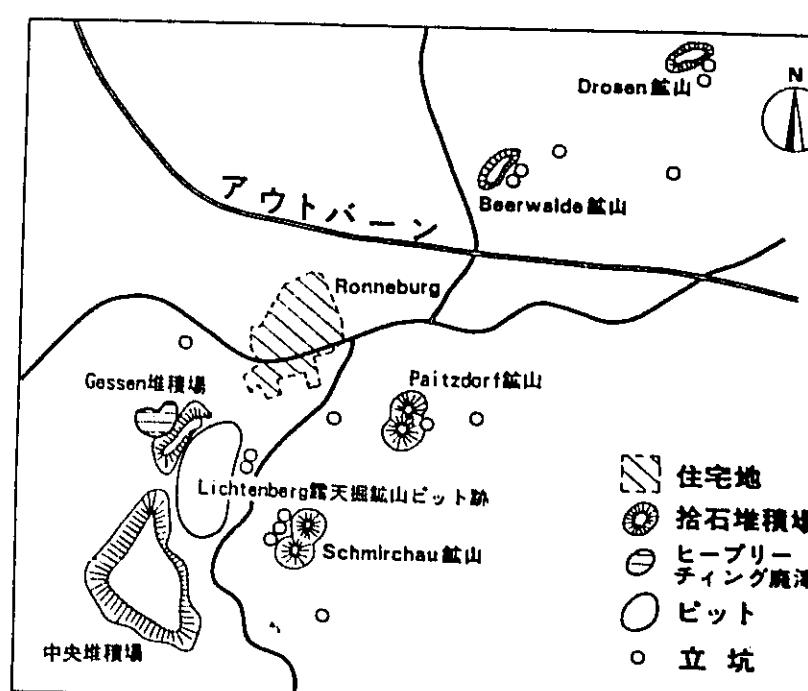


図-9 Ronneburg鉱山周辺図

8.3 経緯と現状

8.3.1 経緯

1950年にRonneburg地域のウラン探鉱活動が開始された。1951年にはウラン鉱床が発見され、地表部のウラン鉱床を対象に開発が行われた。鉱床はRonneburgタイプと称さ

れている多因成(Polygenic)の鉱床である。母岩は、オルドビス-デボン紀の頁岩、石灰岩、輝緑岩でウラン鉱物はピッチブレンドである。鉱床範囲は南北20km、東西8kmの範囲で緩く北東に傾斜している。鉱量は約200,000tUで、そのうち約100,000tUが採掘された。品位は0.075～0.15%Uである。1950年にはSchmirchau、1957年にはLichtenberg露天採掘、引き続き1963年 Paitzdorf、1974年 Beerwalde、1982年Drosenと同一鉱床に対し深度を深めながら立坑による開発がなされた。鉱石は主として1960年まではCrossen製錬所へ、1960年以降はSeelingstadt製錬所へ鉄道輸送し処理をした。1991年11月、生産を中止し坑内の水没作業に入っている。

8.3.2 汚染状況

① Lichtenberg鉱山

当鉱山は1957年から1978年まで操業され、露天掘により、総計1億7千万m³の鉱石と廃石が採掘され12,000～13,000tのウランが生産された。その結果、長さ1,500m、巾400～600m、深さ260mのピットが残された。またピット周辺には420haの面積を占め、1億m³以上の容積を有する捨石堆積場が残されることになった。捨石の大部分は剝土を堆積したピット傍の中央堆積場(容積6400万m³)で、その他低品位鉱石を硫酸によりヒーブリーティングした鉱さいが近くの堆積場に堆積されている。この鉱さいに含まれる放射性核種含有量は他の堆積場のものよりもかなり高いといわれている。

図-10にRonneburg鉱山坑内模式図を示す。

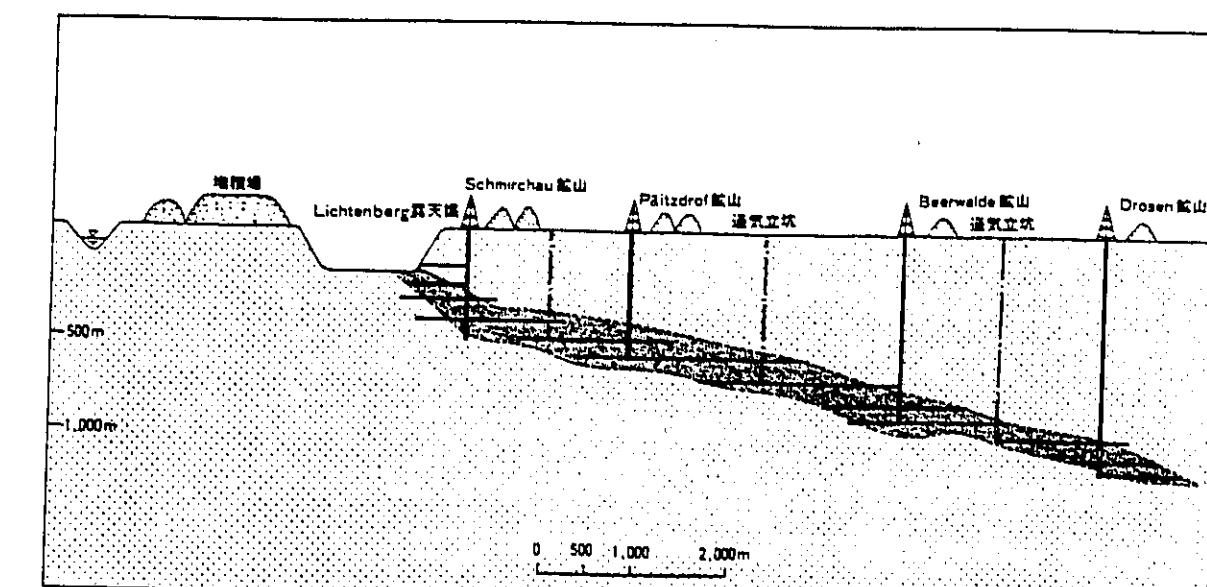


図-10 Ronneburg鉱山坑内模式図

② Ronneburg鉱山

鉱床が深くなるにつれ露天掘から坑内掘に移行させてきた。Schmirchau, Paitzdorf, Beerwalde, Drosen 鉱山と深度は大きくなる。Paitzdorf 鉱山の場合深度は590mであるが、Beerwalde 鉱山では1,000mをこえ、Drosen鉱山が最も深い。各鉱山は坑内で連絡している。採掘法は岩盤があまり良くないため、サブレベル（セメント充填）と人工天盤による下向充填採掘が行われた。立坑は、人員、資材、鉱石運搬用が18本、排気立坑は16本となっている。現在残っている坑内の総延長は約 750km、空洞量は2千万m³で、各鉱山の立坑付近には円錐形の捨石堆積場が残されたままになっている。

8.4 処理修復の考え方と実施状況

Ronneburg 地域も坑内採掘や露天採掘による地下水汚染と捨石堆積場の地下土壤の汚染である。

8.4.1 地下水汚染対策

各鉱山は露天掘と坑内で連絡しており、水没する場合はこれらを考慮する必要がある。これらについての検討はすでに始められており、環境修復には水の浸透調査、水の経路調査、汚染予測（放射性物質値は汚染のひとつに過ぎない）、汚染水処理等が必要と考えられている。

水没は3年前に始められており、深部は既に水没している。最終的な水没水位は露天掘ピット底部が-260mとなり、これより40m水位の低い-300mと計画している。坑内水は現在汚水系とクリーン系に分け、クリーン系の水は揚水後、そのまま放流し、汚水系の水のみを揚水処理している。-300mまでの水没時期は1998年8月と予測している。水没までに立坑、横坑等に密閉ダムを設け、湧水量のコントロールと水質改善を図ることとしている。

8.4.2 捨石堆積場

露天掘及び坑内からの捨石堆積物については、ピット跡に移動し充填することも考えられたが、ピットは他の鉱山廃棄物、例えば汚染度の大きな製錬所設備等の処分地にも利用出来ることから、WISMUT社の鉱山施設全般に対する対策が固まった後、ピット周辺の堆積物の処置構想を作成することとしている。当面汚染度の大きなヒープリーチング浸出後の捨石についてはピット内に堆積するため移動を行っている。

また、坑内から搬出された捨石はコーン状に堆積されているが、これについては傾斜が緩くなるように整形し、覆土植栽することとしている。場所によっては堆積物の下

の土壤を調査し、汚染度の大きなものについては掘削処理することとしている。

8.4.3 覆土植栽試験

現在、露天掘剝土を堆積している中央堆積場では廃棄物である発電所から出る褐炭灰ガラを利用した覆土の試験を行っている。図-11に廃棄物の覆土植栽試験模式図を示す。

ここは 420haと面積も大きく、容積的に余裕があり産業廃棄物の堆積場としても使用されている。ここで産業廃棄物である灰がら、砂利、粘土を利用し廃棄物の覆土としての適性が調査されている。成功すれば一石二鳥の対策となることが期待されている。

試験目的は降雨量水分が廃棄物中に浸透し、汚染物質を溶解浸出させ環境を汚染することを防止するため覆土植栽を行い、その効果をみることにある。

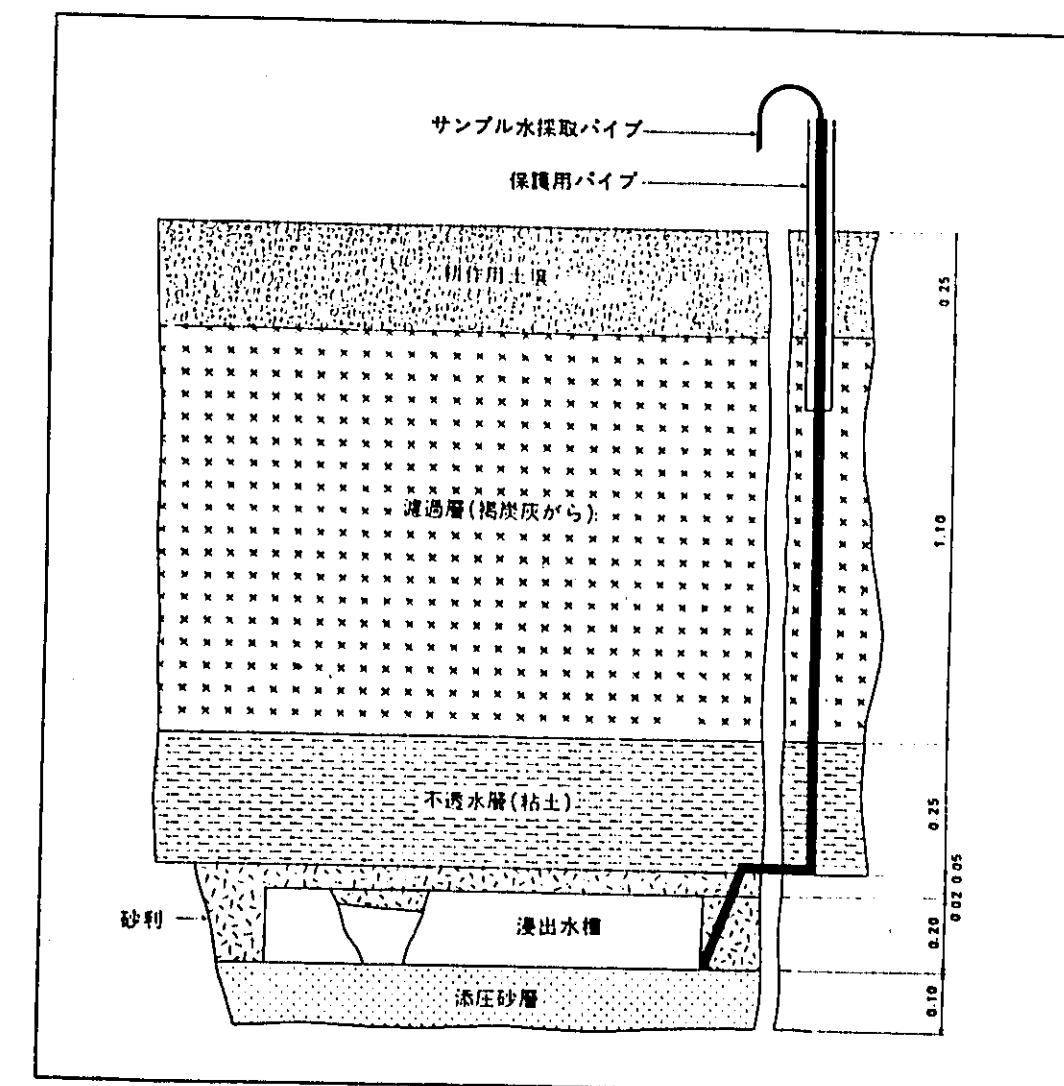


図-11 廃棄物の覆土植栽試験模式図

覆土としては耕作用土壤層、filtration層（貯水層・褐炭灰ガラ）、不透水層（粘土）、砂利層、砂層からなる多層覆土のアイデアを取り入れている。砂利層内に設けた浸出水槽

に貯った水を採取分析することにより降水の浸透状況を調査し、その効果をテストするものである。

この表土に牧草等を植栽し連続的な生育状況を調査し緑化を研究するものである。まだ結果は出でていないが、廃棄物の活用という面から期待されている。

8.4.4 実施状況

1991年上半期に行われた復旧作業

立坑・横坑清掃	152km
坑内ダム建設	388箇所
立坑・横坑プラグ打設（水没量）	275,000m ³
建屋根撤去（鋼材）	1,377 t
操業サイト清掃	13ha
捨石堆積物掘削	1,034,000m ³
埋戻し	107,000m ³

8.5 その他

Reust鉱山、Lichtenberg鉱山露天掘跡、堆積場、Gessen堆積場、Schmirchau鉱山をワゴン車で見学した。Reust鉱山の場合、200nGy/h（ラジウムで0.2Bq/gに相当）以上の場合には対策が必要とされている。また、露天掘跡は、160ヘクタール、一番深い所で240mであり、ピットの底部の壁面には、一部、鉱床が露出しているところがある。

本鉱山では、持参したスペクトル・サーベイメータで放射線を測定することができた。測定結果を表-8に示す。なお、本測定にあたって、WISMUT社側からの測定場所の制限、測定後のデータの確認等の問題はなかった。

表-8 Ronneburg 鉱山における放射線量率測定結果

堆積場を臨む場所 オープン・ピット底部	0.099 μSv/h (14 μR/h) 0.35 μSv/h (50 μR/h) 0.58 μSv/h (83 μR/h) 0.63 μSv/h (90 μR/h)
オープン・ピット底部鉱床 露出部から2m 堆積場付近	3.5 μSv/h (500 μR/h) 0.50 μSv/h (71 μR/h) 0.81 μSv/h (120 μR/h)

注

: ()内の値は、旧サーベイメータ単位との比較のため、
 $1(\mu\text{Sv}/\text{h}) = 100(\mu\text{rem}/\mu\text{Sv}) \div 0.7(\mu\text{rem}/\mu\text{R}) \times 1(\mu\text{R}/\text{h})$
と仮定して、換算した値

また、昼食の際に、ラドンの発生が問題となっていないかを質問したが、鉱山付近は高

いが、周辺の居住地域では問題となっていないとのことであった。しかし、具体的な数値については、対応者である Jacob氏が放射線管理の担当でないため提出されなかった。なお、水の放出については、放出限度が鉄は35mg/l、ウランは1.97mg/l、ラジウムは2200mBq/lとのことであり、実績としては、それぞれ3mg/l、0.8g/l、400mBq/lとのことであった。

9. Crossen製錬所

9.1 訪問スケジュール

5月12日（火） 説明案内：Mr. Hißig Mr. Dreißig

14:25~15:30 事務所にて概要説明
15:30~16:30 捨石堆積場 Helmsdorf鉱滓堆積場

9.2 位置・交通

Sachsen州、西部Zwickau市の中心部から5km北の人口密集地にある。

製錬所はZwickauから北に国道93号線を5kmほど言ったところで右折して、橋を渡ったところにある。そのすぐ北側には捨石堆積場があり、車で上まで登ることができる。

また、川、道路、鉄道が平行して南北に走っており、製錬所、捨石堆積場からは、それに対して反対の西側約2kmのところに広大なHelmsdorf鉱さい堆積場が位置する。廻りは牧草地帯だが、道路沿いには民家が点在する。図-12にCrossen製錬所周辺図を示す。

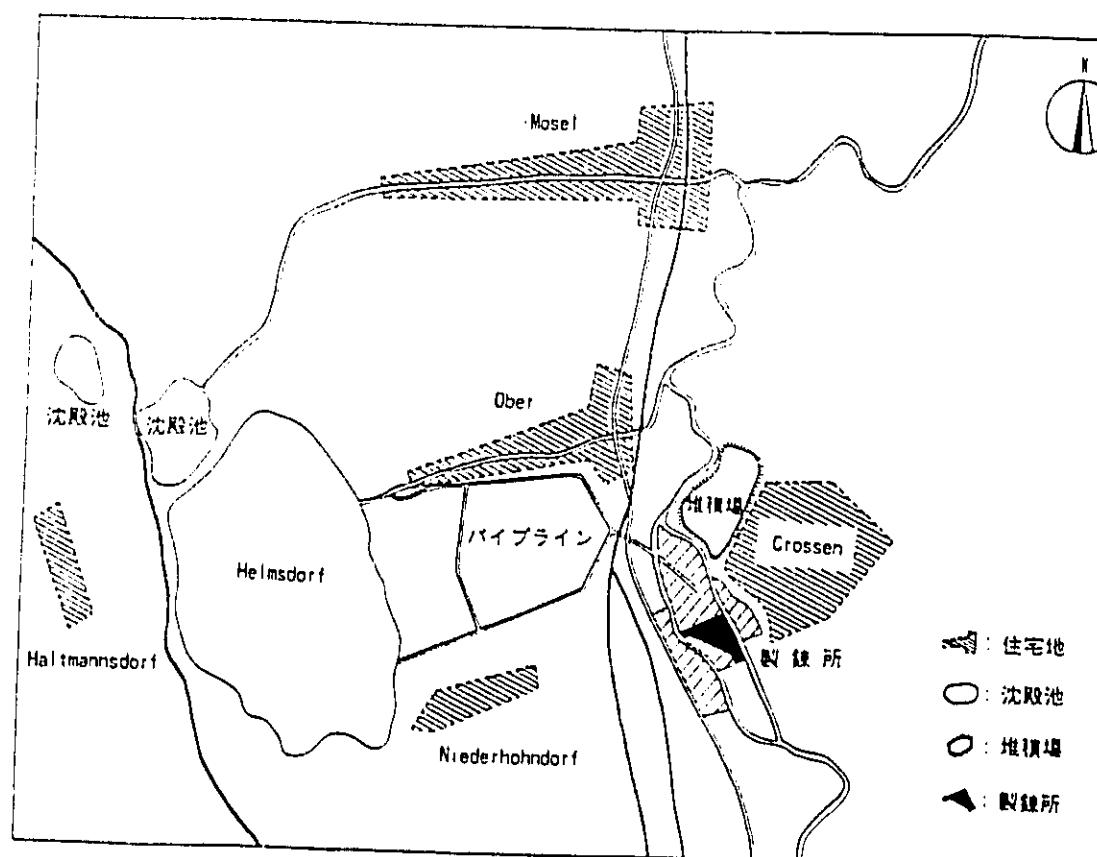


図-12 Crossen製錬所周辺図

9.3 経緯と現状

9.3.1 経緯

Crossen製錬所は1950年に生産を開始し、1989年末に停止した。

選鉱でウラン鉱物であるピッチブレンドを分離していた。方法は、重力選鉱と放射能選鉱であった。これらの産物は、アルカリ浸出を行った。小さい粒子はそのまま浸出工程に送られ、黄鉄鉱を含むフローテーションプロダクトは酸浸出を行った。1970年代初期に新しい浸出法を考え出した。鉱石を3mmの粒子に粉碎し、放射能選鉱を実施し、エアージェットでウランの多いものを分けた。

1978年加圧浸出を実施。オートクレープにて140°C、14気圧で浸出し、向流法によるRIP法（Resin in Pulp-固液分離しないで、懸濁液を直接樹脂に通しウラン吸着する方法）を実施、アンモニアでADUを沈殿する。ウラン含有量70~75%。

運転はコンピュータコントロールシステムによる中央制御方式を採用し、今までに7,400万tの鉱石を処理した。2,200万tはOre MountainsからVeinタイプであり、残りの5,200万tはRonneburg地区からである。

Veinタイプの鉱石の回収率は97%、Ronneburgタイプの鉱石の回収率は88%である。処理した鉱石のうち、鉱さい堆積場には5,700万t、放射能選鉱の尾鉱として、尾鉱堆積場に1,600万tが堆積されている。このうち最大のHelmsdorf鉱さい堆積場は広さ200haであり、5,000万tの鉱さいが最大70mの深さで堆積されている。鉱さいは、50g/tのウラン、5.5Bq/tのラジウム、300g/tの砒素を含んでいる。尾鉱堆積場は22haでRa²²⁶の含有量は1~2Bq/gである。製錬所の敷地は18haで表面下6~8mは汚染されていると見られる。

9.3.2 現状

(1) Crossen製錬所

Crossen製錬所は1989年末にすべて閉鎖されており、今回は工場内まで見ることは出来なかった。1950年以前に製紙工場を改造して建設されたことから、外からの様子では建家もかなり老朽化しており、近い将来において、解体撤去作業が必要であると思われる。

(2) 尾鉱堆積場

製錬所のすぐ近くには、主に放射能選鉱で分けられた尾鉱からなる堆積場があり、その上まで車で上がることができた。尾鉱は粉碎された細粒からなっており、容量は220万m³あり草木はまったくと言ってよいほど繁茂していない。風雨による流出、

風塵化が問題になると思われる。

(3) Helmsdorf 鉱さい堆積場

Helmsdorf の鉱さい堆積場は今回のビスマート鉱山訪問の最大の目的である。Crossen 製鍊所からわずか 2 km のところにある。製鍊所はパイプラインで結ばれており、スラリーを流送していた。2 km の道程にも民家が散在していた。鉱さい堆積場は金網の柵で仕切られており、守衛がいて扉を開けてくれた。堆積場は盛土の堰堤で仕切られており、下からは漏洩水が流れ出している。この液は貯留されて処理した後、河川に放流されているということである。

堰堤の上に上がると、周囲 8 km、広さ 200ha、容量 5,000万 t の広大な堆積場が一望にして眺められる。対岸は覆んで見えるほどであり、人形峠の鉱さい堆積場のイメージを一変させるに十分のインパクトを持っている。今後の鉱さい処置技術開発を実施するにはこのような規模の大きな鉱さい堆積場を処置することを、頭に入れていかなければならないことを実感した。

堆積場の奥の方では、覆土するための技術開発を行っていた。

9.4 淨化修復の考え方と実施状況

9.4.1 淨化修復の考え方

(1) 鉱さいダム汚染対策

Helmsdorf 鉱さい堆積場を排水し、覆土する。

(2) 尾鉱堆積場

Helmsdorf 鉱さい堆積場に輸送する。

(3) 製鍊所

すべての工場施設と建家を取り壊すと共に製鍊所敷地内の汚染土壌を砂利で覆土する。廃材、剝土及び廃棄物を Helmsdorf 鉱さい堆積場に運搬し処分する。

9.4.2 実施状況

現在のところ、Helmsdorf 鉱さい堆積場を中心に地下水の調査、地質調査が行われ、同時に処置のための研究開発や、検討が行われている。

10. Seelingstadt 製鍊所

10.1 訪問スケジュール

5月13日(水) 説明案内: Mr. Hibig Mr. Dreißig

13:30~15:00 概況説明
15:00~17:00 Seelingstadt 製鍊所 Culmitzsch 鉱さい堆積場

10.2 位置・交通

Seelingstadt 製鍊所は、Thüringen州の東端に位置し、Gera市 の南東15km、Ronneburg 市の南南東10kmにある。Crossen 製鍊所に対しては西方20kmの場所にある。Ronneburg 鉱山からは車で10分ほどである。製鍊所の南西 1 km に Culmitzsch 鉱さい堆積場があり、南方 4 km のところには Trünzig 鉱さい堆積場がある。図-13に製鍊所周辺図を示す。

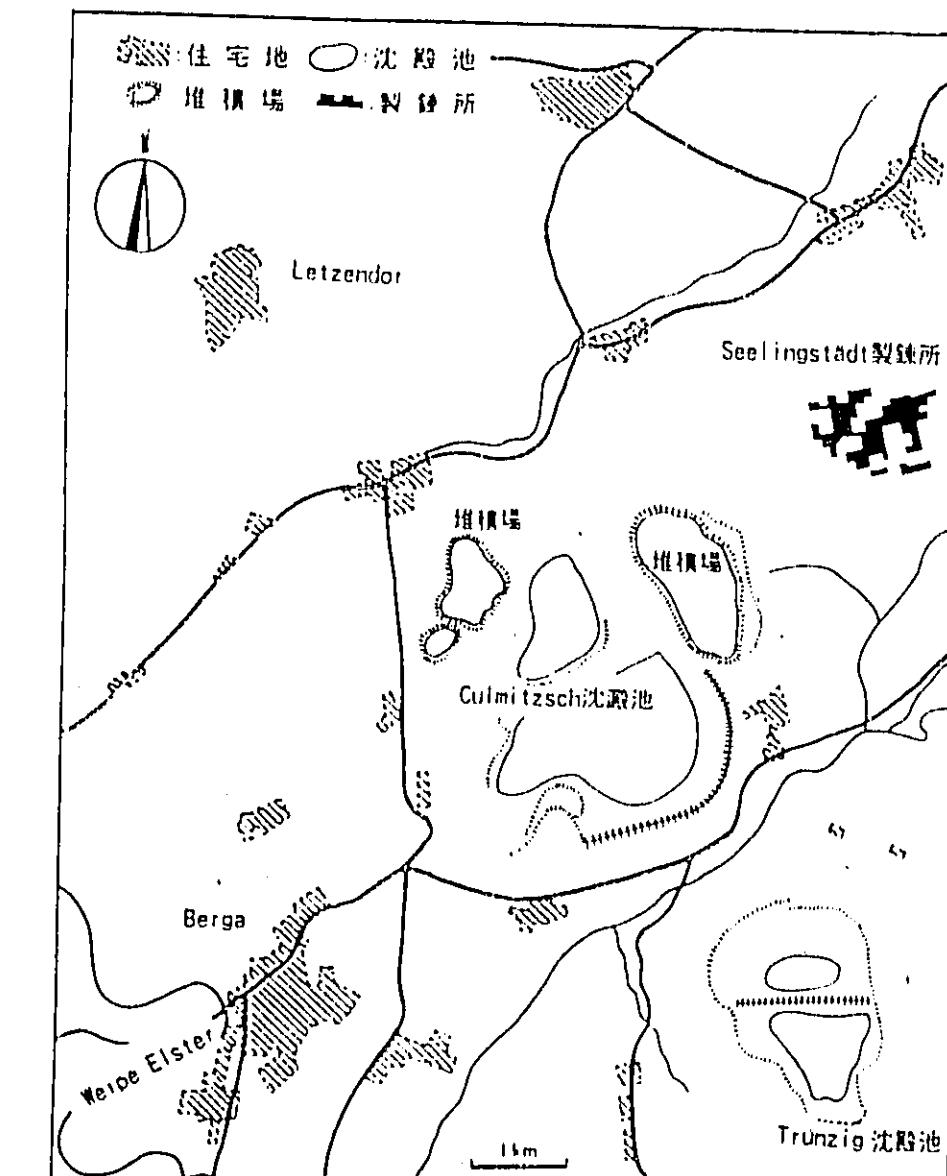


図-13 Seelingstadt 製鍊所周辺図

10.3 経緯と現状

10.3.1 経緯

(1) Seelingstadt製錬所

85haの広さがあり、処理能力は4,000t/hである。1960年から1991年までに1億1000万tの鉱石を処理、このうち8,500万tは酸化剤として、二酸化マンガン、塩素酸ソーダを使って浸出し、イオン交換法で濃縮している。1,500万tは鉱石は高いもので3.5～7.8%のドロマイトを含んでいる。1985年に鉱脈型鉱石を取り扱う。砒素を低くするため2段浸出をとり、Asを水酸化鉄と共に沈する方法を採用している。1990年にCrossen 製錬所が停止したため、生産量が増えた。

(2) 鉱さい堆積場

第1の沈殿池、Trünzig は 140haあり、もともと露天掘ピット跡であった。1967年に廃液の沈殿池とした。人工堤でアルカリ浸出用と酸浸出用の2つの沈殿池に分けた。ダム周辺は粗い砂、下の方は細かい3mの粘土層からなっている。元廃液組成、2500mBqRa/l、廃水は塩化鉄、塩化バリウムを添加して、U、Ra、Asを共沈処理をしている。処理済廃液組成を表-9に示す。

表-9 処理済廃液組成

Ra(mBq/l)	U(mgU/l)	As(μg/l)	SO ₄ (g/l)	Cl(g/l)	固体分
150～160	0.2	5	10	1～2	75～80g/l

10.3.2 製錬所の状況

製錬所の見学は、保安帽に青色の白衣(?)を着せられ、ワゴン車で行った。巨大な粉碎機、ポールミル、スパイラル分級機が並んでおり、中はきれいに掃除されて使用されていなかった。屋外にあるバチューカタンクも配管が外れており、使用終了の設備であることがうかがわれた。殆どの設備は工程ごとに鉄骨造りの巨大な建室内に納められ、それぞれの建室間の物質の移送はベルトコンベアかパイプである。製錬所から、南西へ1 km離れたCulmitzschen鉱さい堆積場までは、何本もの10～16インチパイプで鉱さいの流送、上澄水の逆送が行われていた。

Culmitzschen鉱さい堆積場は元の露天採掘場を利用したということである。堆積場は堤体で2つに仕切られ、それぞれ酸浸出用とアルカリ浸出用に分かれている、別々に上澄水をリサイクルできるようにしていた。

現在新しい廃液処理装置を考えているということであった。

10.4 処理修復の考え方と実施状況

10.4.1 鉱さい堆積場処置対策

鉱さいを固化安定化することを考えている。このためGeotextileと呼んでいる、ろうそくの芯のようなものを1.5m間隔で鉱さい堆積場に打ち込み、毛管現象を利用して、中の水分を除去する方法の試験を検討している。

また、スラリー状の鉱さいの上の土砂を盛り、中の鉱さいの水分が除かれるかどうかの実験も行っている。

今後の課題として、鉱さい堆積状については、長期間（1000年単位）の安定性、ラドンの発生、地震による影響がある。また製錬所については、解体・除染が課題となる。

11. 一般的事項

旧東独WISMUT社ウラン鉱業汚染の浄化復旧計画等の技術的事項については、前章までに詳細に述べてきた。本性では、東西ドイツの統一後の旧東独の社会情勢等、本調査の間に気づいた一般的な事項についても記載しておくこととした。

Frankfurt にて

5月9日、昼に成田を発ち、約12時間。現地時間で同日夕方、 Frankfurt空港に到着した。日本からポケット線量計(Aloka社製、 My Dose /Mini)を携帯したが、離陸から着陸までの間の線量は、 $13\mu\text{Sv}$ であった。

Dresdenへの便は翌日10日であり、 Frankfurt中央駅(Hauptbahnhof)付近のホテルで宿泊することとなっていたため、空港地下から出発している地下鉄で移動した。切符の自動販売機の前で、切符の買い方を調べていたところ、同じようにトランクを横に置いて切符の買い方を見ていたアラブ系の人がパスポートや財布の入ったバックバッグが盗まれたと騒ぎだした。 Frankfurtは旧西独とは言え、空港地下には様々な人種、浮浪者等があり、必ずしも治安が良いとは思えなかった。

ところで、切符の買い方であるが、色で行き先が表示されており、システムさえ分かれれば電車とバス共通で移動でき、利用しやすい。ただし、電車はホームにも、電車そのものにも落書きだらけで、残念ながらきれいとは言いがたい。空港から中央駅までは電車で15分くらいの距離である。

FrankfurtからDresden へ

Frankfurt 空港の待合室でRosenkranz氏と落ち合った。分かり安い英語を話す紳士であり、言葉については一安心の感があった。なお、ドイツの国内空港の待合室には、スナック、コーヒー類が置いてあり、フリーサービスとなっている。わずか1時間の国内便でも酒等のサービスが出され、日本に較べてかなり待遇がよかったです。

午後2時過ぎ、 Dresdenに到着。 Rosenkranz氏が手配しておいたレンタカーで同氏の運転によりホテルへ向かう。途中の町並みは、総じて暗く、戦後すぐに建てられたアパート群の建物も多く残っている。 Rosenkranz氏によると、戦争ではほとんどが焼けてしまったため建物のほとんどが戦後のもののことであった。一方、一步郊外に出ると、 Rosenkranz氏に言わせると、西独にはほとんど残っていないという戦前の古い粗末な家屋が多く見受けられた。

けられた。

ホテルは、 Hotel Dresden Hof(Dresden Hilton)。どう見ても西側の近代的な最新のホテルという感じであった。なお、後で聞いた所、日本企業も設計に参加し、スウェーデンの企業が建設した最新のホテルとのこと。英語、クレジットカード等も問題なく通じ、また、ホテル内で日本円をマルクに換金することも可能である。ホテル近辺は、戦争で破壊された建物を、修復中のものが多く、旧西独からの費用の投入は相当なものであろうと感じた。 Rosenkranz氏によれば、旧西独の人は税金によって大変のことであった。

Königstein へ

5月11日、8:45にホテルを出発。これ以降は、英語は通じない。 Dresdenから約30kmの距離にあるWISMUT社のKönigstein鉱山施設へ向かう。 WISMUT社には予定通り9:30に到着。

同社では、エンジニアのコーツ氏ら2人の技術者の同席の下、施設の責任者のRosenhahn氏自ら、 Königstein鉱山の概要と復旧計画の概要を説明して頂いた。説明は、ドイツ語での説明をRosenkranz氏が英語に翻訳するという形で行われた。この調査については、既に記載したとおりである。

WISMUT社側で準備した昼食の後、ワゴン車で敷地内を見学したが、このワゴン車が、古く、オンボロ。いかにも旧東独のワゴンと言う感じであり、決して乗り心地が良いとは言えない。なお、同じワゴンは、 WISMUT社のすべての施設で用いられていた。

KönigsteinからChemnitz へ

Königsteinの施設見学の後、一旦、 Dresdenに戻り、宿泊地のChemnitzまでアウトバーンで移動した。 Dresden からChemnitzまでは約60kmの距離である。途中のアウトバーンは高速道路としは必ずしも良好なものでなく、至る所で道路工事中であった。 Rosenkranz氏によると、戦前に作られたアウトバーンがそのままになっていたため、東西ドイツの統合後、ガードレールの設置道路拡幅、路面の補修が大掛かりに進められているとのことである。 東独の時代は、トラバント(軽自動車)ばかりで、多少アウトバーンにデコボコがあってもスピードが出せないため問題はなかったが、東西統一の後、西の車が増えるに従って、事故が多くなった。このため、道路工事が多くなっている現状にある。

アウトバーンを下り、 Chemnitzの中心部へ。 レーニンの頭部の像がまだ残っている。 ホテルは、 Chemnitzer Hof。 かなり古くて狭い、 シャワーのみの部屋であったが、 Chemnitz

では、ホテル・コングレス、ホテル・モスクワと並ぶ3大ホテルの一つのようである。ホテル周辺を散策したが、この町もかなり古く、暗い感じの建物ばかりであった。

しかし、既に HONDA、TOYOTA、ISEKI等の事務所やカンパンが見受けられ、日本企業の進出が進んでいる。

Aue鉱山及びCrossen製鍊所

5月12日9:00にホテルを出発し、南西へ20km程アウトバーンに乗り、169号線でAue鉱山に向かう。10時頃、Aue鉱山事務棟に到着。同鉱山における調査内容については、既に述べた通りである。Aue鉱山のレストランで昼食の後、93号線を北上し、Awickauを過ぎて、175号線を北上して、Crossen製鍊所に移動。16:30頃まで同施設を見学した。

Crossen製鍊所からの帰路は、175号線を北上し、アウトバーンを使わずにChemnitzに戻った。途中、東側の雇用機会を促進するため、フォルクス・ワーゲンの工場が建設中であった。175号線を更に北上し、Rosenkranz氏が10才くらいの頃、戦前に住んでいたロホスブルクと言う町の小さな城を訪れた。また、ブルクスタットと言う小さな町を通った時に、Rosenkranz氏がいとこに挨拶にいっている間、同町を散策した。カメラを持って歩く東洋人が珍しいのか、町の人達の視線を“遠目に”感じた。旧西独よりも遙かにのどかで、平和な田舎町と言う感じであった。また、ショーウィンドウを見る限り、おもちゃ等は古いものであったが、CD等は既に西側の最近のものが売られていた。

ChemnitzからDresdenへ

5月13日朝、Chemnitzer Hofをチェックアウト。クレジットカードでの支払いは問題ないが、トラベラーズ・チェックは使えない（知らない）ので、ドイツ語を喋れない人にとってはトラブルのもとであり、注意が必要である。8:00にホテルを出発し、アウトバーンでRonneburg鉱山群へ向かう。これは、レストランでも同様である。

Chemnitzから西へ約50km。アウトバーンから、円錐状の大きなズリ山が見え、鉱山群であることが分かる。9:10にPaitzdorf鉱山事務棟に到着。そのビルの壁を見ると、労働者や子供を抱く母親等、西側のものでないことが一目で分かる。

昼食後、Ronneburg鉱山群から7～8km南東にあるSeelingstädt製鍊所に移動し、1時頃に施設に到着。4時頃、Seelingstädt製鍊所を出発し、アウトバーンでDresdenへ。

Dresdenには6時頃着き、市内を散策の後、Dresden Hiltonに、7時半頃到着。ようやく

「西側」に戻ったと言う感じであった。

Dresden 発

5月14日8:40、ホテルをチェックアウト。旧東独最後の朝もRosenkranz氏に空港まで車で送って頂いた。途中道に迷った時、ロシア軍の市内パトロールに出くわした。

Rosenkranz氏によると、東西ドイツが統合されたとは言え、ロシアの軍人及びその家族は、母国での身の振り方が決まっておらず、これらの人に対してはドイツ政府としても1993年までの駐留を認めているとのことであった。また、旧東ドイツでは空港は重要な軍事施設でありこのため空港までの道はいまだに標識が整備されていない。

9:55、Dresden発、Köln行きのフライトが予定通り出発し、旧東独での重要な経験に別れを告げた。

今回、東西ドイツの統一から1年半あまりで旧東ドイツの国情を視察できたのは非常に貴重な経験であった。

かつて東欧の優等生と言われ、最も経済的に発展しているといわれた旧東ドイツも、町の中を見ていると、自動車、道路、建物など、我々から見ると古くて効率が悪そうで、最近に旧ソ連をはじめとして東欧諸国が次々と共産党一党支配を脱しているのも無理からぬことであると納得できた。秘密警察の横行や密告など旧東独の人達が被った精神的な傷跡など心のうちは一遍の旅行者には計るすべもないが、経済的、社会的にでも旧東ドイツが旧西ドイツと肩をならべ真の統一が実現するのはまだ大分先であると感じた。

12. おわりに

今回の訪問によって得られたことは、WISMUT鉱山群は、通常のウラン鉱山と比較し、大規模にかつ住宅地に近い所で事業が行われていた事実と、さらに、現地の汚染源となる捨石堆積場や鉱さい堆積場の修復前の姿を見ることが出来たこと、浄化修復の現況がわかったことである。

現時点では目に見える修復工事は、Aue鉱山での住民の安全に緊急を要する住宅地近くの捨石堆積場や採掘による陥没地に限られたものであり、汚染発生源となる鉱さい堆積場やほとんどの捨石堆積場等については、最も有効な浄化修復を行うために調査や研究がなされている段階にある。

のことからWISMUT社の浄化修復は、これからが本番をむかえることとなり、世界的に見てもそのスケールの大きさから技術的にはいろいろユニークな発想が必要となるものと思われる。

動燃として今後の環境保全技術開発を進める上で、WISMUT社の浄化修復の推移についての情報収集は欠くことのできないものである。

浄化修復計画に我々が参加することにより目的を達するのが最も好ましい方法であるが、Interuran 社のRosenkranz氏に尋ねてみたが、既に政府間の協定に基づいて技術協力の形でカナダ、アメリカの専門家グループによるコンサルティングが行われており、オーストラリアが協力を申し入れたが断られたという経緯もあり、今から計画に入り込むことは無理と判断される。そこで今後の取り組みとして以下の事があげられる。

- ① NUKEM 社、COGEMA社等、WISMUT社に関する情報収集能力のある会社に今回訪問した鉱山、製錬所についての浄化修復に関するその後のより詳細な情報収集を依頼する。
- ② この情報を解析し、現地調査が必要と思われる場合や浄化修復がある程度進展した段階で焦点を絞ってWISMUT社に現地調査をする。
- ③ 環境保全技術は普遍的な技術と地域固有の技術があることから合わせて、カナダ、アメリカ、オーストラリアにおけるウラン鉱山の環境保全現地調査を実施し、幅広く研究し、いろいろなケースでの環境保全技術を取得する。
- ④ 動燃の技術的ポテンシャルを高めるため、人形峠事業所において鉱さい堆積場等を使った環境保全技術開発を精力的に行い、さらに海外での鉱山の適用試験に展開していく。



写真-1 Königstein鉱山遠景、左側捨石堆積場



写真-2 Königstein鉱山坑廃水処理施設、シックナーと沈澱池

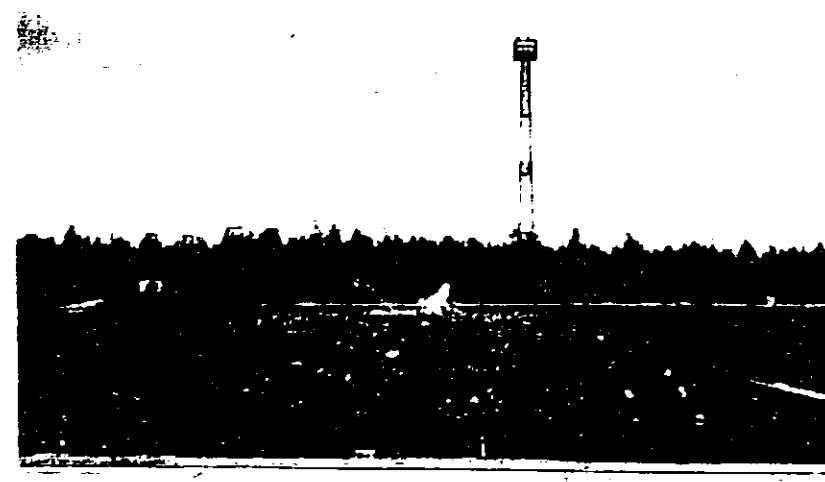


写真-3 Königstein鉱山ヒープリーチング場



写真-4 Königstein鉱山捨石及びヒープリーチング鉱さい堆積場



写真-5 Aue 鉱山付近の捨石堆積場より付近を望む



写真-6 Aue 鉱山の捨石堆積場の1つ



写真-7 Aue 鉱山の古い堆積場

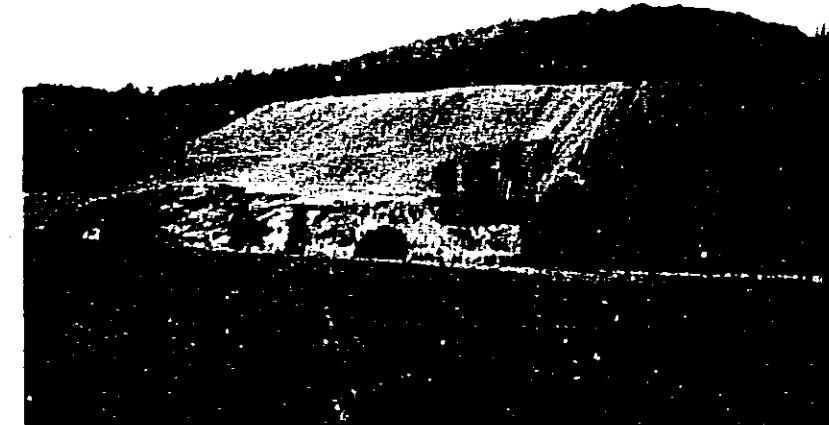


写真-8 Aue 鉱山陥没地（手前）と
捨石堆積場（後方）の整形、覆土、植栽工事



写真-9 Schmirchau鉱山付近の捨石堆積場、
後方Lichtenberg 露天掘鉱山



写真-10 Paitzdorf 鉱山遠景



写真-11 Lichtenberg 露天掘鉱山ピット、後方Schmirchau鉱山



写真-12 Lichtenberg 露天掘鉱山、捨石堆積場頂上よりピットを望む

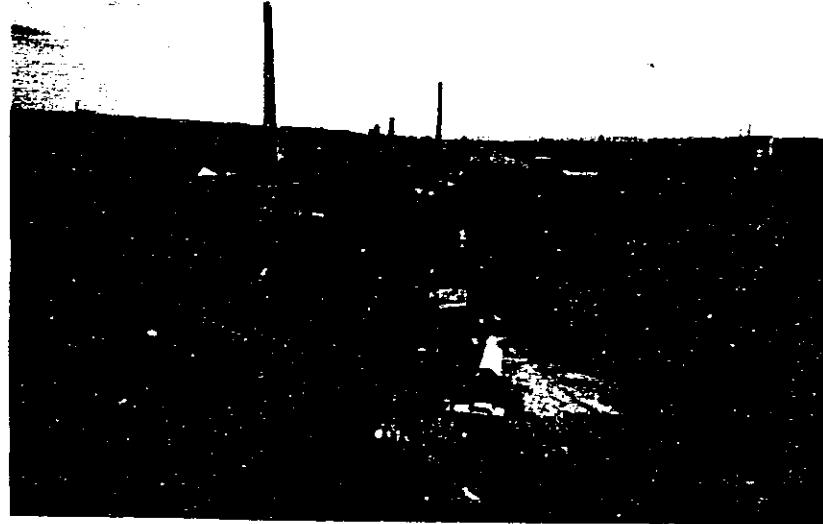


写真-13 尾鉱堆積場よりCrossen 製錬所を望む



写真-14 Helmsdorf 鉱さい堆積場堤体と漏洩水

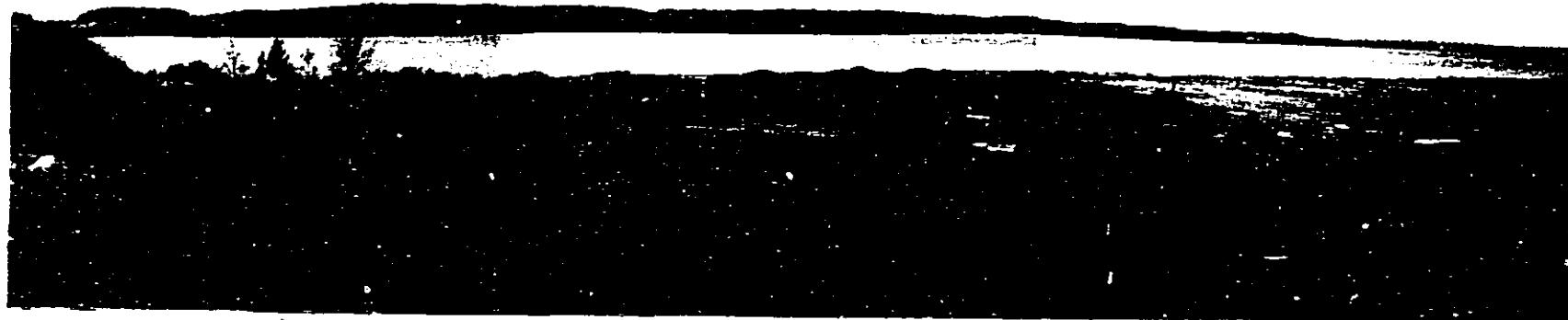


写真-15 Helmsdorf 鉱さい堆積場全景、直径約2kmの大きさ

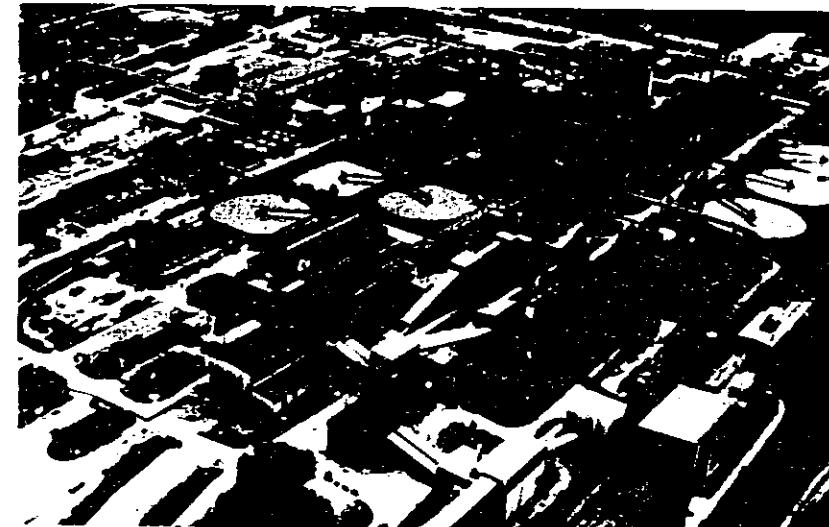


写真-16 Seelingstadt製錬所全景

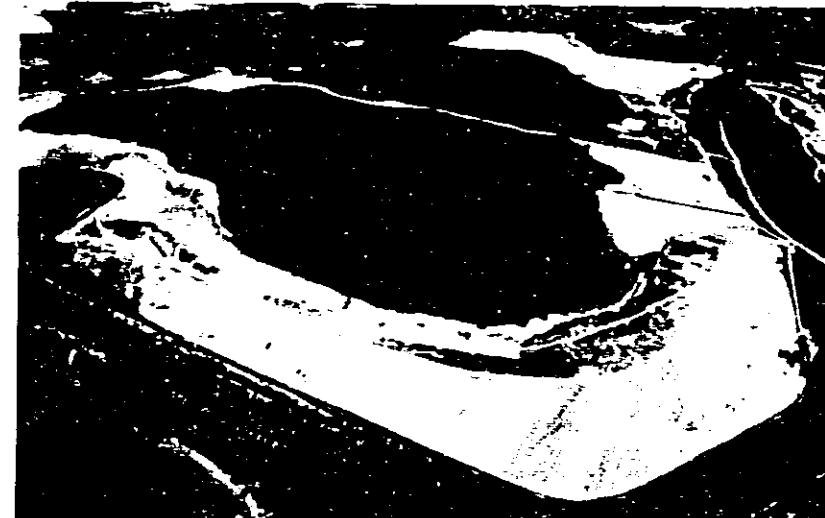


写真-17 Culmitzsch鉱さい堆積場全景



写真-18 Seelingstadt製錬所ボールミル



写真-19 Culmitzsch鉱さい堆積場
(右 アルカリ浸出用, 左 酸浸出用)