

Manhattan Project 「マンハッタン計画 (原子爆弾製造計画)」

マンハッタン計画は、第二次世界大戦中に最初の核兵器を製造した研究開発事業でした。

これは、英国(オリジナルのチューブ・アロイズ・プロジェクトを開始した)とカナダの支援を受けて、米国が主導しました。

1942年から1946年まで、このプロジェクトはアメリカ陸軍工兵隊のレスリー・グローブス少将の指揮下にあります。

核物理学者のロバート・オッペンハイマーは、実際の爆弾を設計したロスアラモス研究所の所長でした。慣例による技術者地区は、それらが位置する都市の名前を持っていたので、プロジェクトの陸軍部分はマンハッタン地区に指定されました。

マンハッタンは、プロジェクト全体の公式コードネームである「代替材料の開発」に徐々に取って代わられました。

その過程で、プロジェクトは以前の英国版である Tube Alloys を吸収しました。

マンハッタン計画は1939年に小規模に始まりましたが、130,000人以上の従業員を雇用し、20億米ドル近くの費用がかかるまでに成長しました(2019年の約230億ドルに相当)。

費用の90パーセント以上は工場の建設と核分裂性物質の生産に費やされ、兵器の開発と生産は10パーセント未満でした。

研究と生産は、米国、英国、カナダの30を超える拠点で行われました。

戦争中、2種類の原子爆弾が同時に開発されました。

1つは比較的単純な銃タイプの核分裂兵器であり、もう1つはより複雑な爆縮タイプの核兵器です。

Thin Man 銃タイプの設計はプルトニウムで使用するには非現実的であることが判明したため、天然ウランのわずか0.7%を構成する同位体であるウラン235を使用した、より単純なタイプの銃「Little Boy」が開発されました。

最も一般的な同位体であるウラン238と化学的に同一であり、ほぼ同じ質量を持っていたため、2つの分離は困難であることが判明しました。

ウラン濃縮には、電磁、ガス、熱の3つの方法が採用されました。

この作業のほとんどは、テネシー州オークリッジのクリントン エンジニア ワークスで行われました。

ウランの研究と並行して、1940年にカリフォルニア大学バークレー校の研究者によって発見されたプルトニウム生産の取り組みが行われました。

1942年にシカゴ大学の冶金研究所で行われたこのプロジェクトは、オークリッジのX-10 グラファイト原子炉と、ウランが照射されてプルトニウムに変換されるワシントン州のハンフォードサイトの生産用原子炉を設計しました。

プルトニウムは、リン酸ビスマスプロセスを使用してウランから化学的に分離されました。ファットマン プルトニウム爆縮型兵器は、ロスアラモス研究所による共同設計および開発努力の中で開発されました。

このプロジェクトは、ドイツの核兵器プロジェクトに関する情報収集も担当していました。

アルソス作戦を通じて、マンハッタン計画の職員はヨーロッパで、時には敵陣の背後で、核物質や文書を収集し、ドイツの科学者を集めました。

マンハッタン計画の厳重なセキュリティにもかかわらず、ソビエトの原子爆弾のスパイは成功裏にプログラムに侵入した。

これまでに爆発した最初の核兵器は、1945年7月16日にニューメキシコ州のアラモゴルド爆撃射撃場で実施されたトリニティ実験での爆縮型爆弾でした。

マンハッタンプロジェクトの職員が爆弾の組み立て技術者として、また攻撃機の兵器工として働いていました。

戦後すぐの数年間、マンハッタン計画は、クロスロード作戦の一環としてビキニ環礁で兵器実験を行い、新しい兵器を開発し、国立研究所のネットワークの発展を促進し、放射線医学の研究を支援し、原子力海軍の基礎を築きました。

1947年1月に米国原子力委員会が設立されるまで、米国は核兵器の研究と生産を管理していました。

## 起源

参照: マンハッタン計画と核分裂の発見のタイムライン

1938年にドイツの化学者オットー・ハーンとフリッツ・シュトラスマンが核分裂を発見し、リーゼ・マイトナーとオットー・フリッシュがその理論を説明したことで、原子爆弾の開発が理論的に可能になりました。

特にナチス・ドイツや他のファシスト諸国からの難民である科学者の間で、ドイツの原子爆弾プロジェクトが最初に開発されるのではないかと懸念があった。

1939年8月、ハンガリー生まれの物理学者レオ・シラードとユージン・ウィグナーは、「新しいタイプの非常に強力な爆弾」の開発の可能性について警告するアインシュタイン・シラードの手紙を起草しました。

ウラン鉱石の備蓄を獲得し、エンリコ・フェルミらによる核連鎖反応の研究を加速するための措置を講じるよう米国に求めた。

彼らはそれをアルバート・アインシュタインに署名させ、フランクリン・D・ルーズベルト大統領に届けました。

ルーズベルトは、アメリカ国立標準技術研究所のライマン・ブリッグスに、手紙で提起された問題を調査するために、ウラニウムに関する諮問委員会を率いるよう求めた、ブリッグスは1939年10月21日に会議を開き、シラード、ウィグナー、エドワード・テラーが出席した。

委員会は11月にルーズベルトに、ウランは「現在知られているものよりもはるかに強力な破壊力を持つ爆弾の可能性のある源を提供するだろう」と報告した。

米海軍はコロンビア大学に6,000ドルの資金を提供し、そのほとんどはエンリコ・フェルミとシラードがグラフィイトの購入に費やしました。

Fermi, Szilard, Eugene T. Booth, John Dunning を含むコロンビア大学の教授のチームは、アメリカで最初の核分裂反応を作成し、Hahn と Strassmann の研究を検証しました。

同じチームがその後、一連のプロトタイプ原子炉(またはフェルミが呼んだ「パイル」)をコロンビアのピュピンホールに建設しましたが、連鎖反応を達成することはできませんでした。

ウランに関する諮問委員会は、1940年6月27日に組織が設立されたときに、ウランに関する国防研究委員会(NDRC)となった。

ブリッグスは、ウラン、特にウラン 235 の同位体と、1940 年にカリフォルニア大学で発見されたプルトニウムの研究に 167,000 ドルを費やすことを提案しました。

1941 年 6 月 28 日、ルーズベルトは大統領令 8807 に署名し、科学研究開発局 (OSRD) [9] を創設し、ヴァネヴァー・ブッシュをその部長とした。

オフィスは、研究に加えて大規模なエンジニアリングプロジェクトに従事する権限を与えられました。

ウランに関する NDRC 委員会は、OSRD の S-1 セクションになりました。セキュリティ上の理由から、「ウラン」という言葉は削除された。

英国では、バーミンガム大学のフリッシュ・パイエルスとルドルフ・パイエルスが、1939年6月にウラン235の臨界量の調査に画期的な成果を上げた。

彼らの計算によると、10 キログラム (22 ポンド) ほどの大きさで、当時の爆撃機が運ぶのに十分な大きさでした。

1940 年 3 月のフリッシュ・パイエルスの覚書は、英国の原子爆弾プロジェクトとその MAUD 委員会 [13] を開始し、全会一致で原子爆弾の開発の追求を推奨した。

1940 年 7 月、英国は米国にその科学研究へのアクセスを許可することを提案し [14]、ティザード・ミッションのジョン・コッククロフトは英国の発展についてアメリカの科学者に説明した。

彼は、アメリカのプロジェクトがイギリスよりも小さく、それほど進歩していないことを発見した。

科学的交換の一環として、MAUD 委員会の調査結果が米国に伝えられました。

そのメンバーの 1 人であるオーストラリアの物理学者マーク・オリファントは、1941 年 8 月下旬に米国に飛び、MAUD 委員会から提供されたデータが米国の主要な物理学者に届いていないことを発見しました。

オリファントはその後、委員会の調査結果が明らかに無視されている理由を突き止めようとしてきました。

彼はウラニウム委員会と面会し、カリフォルニア州バークレーを訪問し、アーネスト・O・ローレンスに説得力をもって話しました。

ローレンスは感銘を受け、ウランの研究を始めました。

彼は、ジェームズ B. コナント、アーサー H. コンプトン、ジョージ B. ペグラムに話しました。

したがって、オリファントの使命は成功しました。

アメリカの主要な物理学者たちは、原子爆弾の潜在的な力に気づいていた。

1941 年 10 月 9 日、ルーズベルト大統領は、ヴァネヴァー・ブッシュとヘンリー・A・ウォレス副大統領との会議を招集した後、原子計画を承認しました。

プログラムを管理するために、彼は自分自身で構成されるトップ ポリシー グループを作成しました。

彼は会議に出席したことはありませんが、ウォーレス、ブッシュ、コナント、陸軍長官のヘンリー L. スティムソン、陸軍参謀総長のジョージ C. マーシャル将軍・ルーズベルトは海軍ではなく陸軍を選んでプロジェクトを運営しました。

陸軍は大規模な建設プロジェクトの管理に豊富な経験を持っていたからです。彼はまた、英国との取り組みを調整することに同意し、10 月 11 日にはウィンストンチャーチル首相にメッセージを送信し、原子力問題で対応するよう提案した。

実現可能性

## 提案

スーツを着た6人の男性が椅子に座り、笑顔で笑う

1940年3月、カリフォルニア州バークレーでの会合：アーネスト・O・ローレンス、アーサー・H・コンプトン、ヴァネヴァー・ブ

ッシュ、ジェイムス・B・コナント、カール・T・コンプトン、アルフレッド・L・ルーミスS-1 委員会は1941年12月18日に

会合を開き、真珠湾攻撃とその後の日本とドイツに対するアメリカの宣戦布告を受けて、「熱意と緊急性のある雰囲気」に満ちていた。

より豊富なウラン 238 からウラン 235 を分離するための3つの異なる同位体分離技術の研究が進められていました。

カリフォルニア大学のローレンスと彼のチームは電磁分離を調査し、エガー・マーフリーとジェシー・ウェイクフィールド・

ビームスのチームはコロンビア大学で気体拡散を調べ、フィリップ・アベルソンはワシントンのカーネギー研究所と後に海軍研究所で熱拡散の研究を指揮しました。

Murphree は、ガス遠心分離機を使用した分離プロジェクトの首謀者でもあり、失敗に終わった。

その間、原子炉技術の研究には2つのラインがあり、ハロルド・ユーリーはコロンビアで重水の研究を続け、アーサー・コンプトンはカリフォルニアのコロンビアとプリンストン大学の彼の監督の下で研究している科学者をシカゴ大学の彼のチームに参加させた、彼は1942年初頭に冶金研究所を組織し、中性子減速材としてグラファイトを使用するプルトニウムと原子炉を研究しました。

1942年5月23日、ブリッグス、コンプトン、ローレンス、マーフリー、およびユーリーが会合し、5つの技術すべてを追求するよう求めた S-1 委員会の勧告を最終化しました。これは、ブッシュ、コナント、および核問題に関する陸軍の代表に指定されていたブレホン・B・サマーベル少将の補給サービスの参謀長であるウィルヘルム・D・スタイアー准将によって承認されました。

## 爆弾の設計思想

### 一連の落書き

1942年7月の会議で検討されたさまざまな核分裂爆弾の組み立て方法

コンプトンは、カリフォルニア大学の理論物理学者ロバート・オッペンハイマーに、臨界量と兵器の爆発の計算の鍵となる高速中性子計算の研究をグレゴリー・ブライトから引き継ぐよう依頼した。

セキュリティ冶金研究所の物理学者であるジョン・H・マンリーは、全国に散らばる実験物理グループと連絡を取り、調整することでオッペンハイマーを支援するよう割り当てられた。

イリノイ大学のオッペンハイマーとロバート・サーバーは、中性子の拡散の問題 (核連鎖反応で中性子がどのように移動するか) と流体力学の問題 (連鎖反応によって生成された爆発がどのように振る舞うか) を調べました。

この研究と核分裂反応の一般理論を見直すために、オッペンハイマーとフェルミは、1942年6月にシカゴ大学で、1942年7月にカリフォルニア大学で、理論物理学者のハンス・ベージェ、ジョン・ヴァン・ヴレック、エドワード・テラー、エミール・

コノピンスキー・ロバート・サーバー・スタン・フランケル、エルドレッド・C.ネルソン (1917-2008)・オッペンハイマーの最後

の3人の元学生、実験物理学者のエミリオ・セグレ・フェリックス・プロッホ・フランコ・ラセッティ・ジョン・ヘンリー・マンリー

・エドウィン・マクミラン、彼らは、核分裂爆弾が理論的に可能であることを暫定的に確認した。

フランコ・ラゼッティ、ジョン・ヘンリー・マンリー、エドウィン・マクミラン。彼らは、核分裂爆弾が理論的に可能であることを暫定的に確認した。

フランコ・ラゼッティ、ジョン・ヘンリー・マンリー、エドウィン・マクミラン。彼らは、核分裂爆弾が理論的に可能であることを暫定的に確認した。

まだまだ未知の要素がたくさんありました。

1941年2月にグレンシーボークと彼のチームによって発見されたばかりの元素であるプルトニウムと同様、純粋なウラン235の特性は比較的知られていませんでした。

1942年7月に開催されたバークレー会議の科学者たちは、ウラン235原子の核分裂から放出された中性子をウラン238原子が吸収する原子炉でプルトニウムを生成することを想定していました。

この時点では、原子炉は建設されておらず、セントルイスのワシントン大学などの機関でサイクロトロンから入手できるプルトニウムはごくわずかでした。

1943年12月までに、わずか2ミリグラムしか生産されていませんでした。

核分裂性物質を臨界量に配置する方法はたくさんありました。

最も単純な方法は、「円筒形プラグ」を「活性物質」の球に「少なくともより多くの実験データが利用可能になるまでは、核分裂爆弾のアイデアが理論的に解決されたことを考えると、1942年のバークレー会議は別の方向に向かった。

エドワード・テラーは、より強力な爆弾の議論を推し進めた。「スーパー」、現在通常「水素爆弾」と呼ばれる、重水素とトリチウムの核融合反応を点火するために爆発する核分裂爆弾の爆発力を使用する。テラーは次から次へと計画を提案したが、ベテはそれぞれを拒否した。

核融合のアイデアは、核分裂爆弾の製造に集中するために捨てられた、テラーはまた、原子爆弾が窒素原子核の仮想的な核融合反応のために大気を「発火」させるかもしれないという投機的可能性を提起した。

## 組織

### マンハッタン地区

1942年6月、エンジニアのチーフであるユージンレイボルド少将は、ジェームズC.マーシャル大佐をこのプロジェクトの陸軍部門の責任者に指名しました。

マーシャルはワシントンDCに連絡事務所を開設しましたが、一時的な本部をブロードウェイ270の18階に設置しました。

ニューヨークでは、技術者軍団の北大西洋師団からの行政支援を受けることができた。

それは、主要なプロジェクト請負業者であるストーンアンドウェブスターのマンハッタンオフィスとコロンビア大学の近くにありました。

彼は以前の指揮官であるシラキュース地区をスタッフとして起用する許可を得ており、ケネス・ニコルズ中佐が副官となった。

プロジェクトの組織図。上がプロジェクト本部の部門、真ん中がマンハッタン地区、下が現場事務所  
マンハッタン計画の組織図、1946年5月1日

彼の仕事のほとんどは建設に関係していたため、マーシャルは工兵隊の建設部門の責任者であるトーマス・M・ロビンズ少将とその副官であるレスリー・グローブス大佐と協力して働いた。Reybold、Somervell、Styerはこのプロジェクトを「代替材料の開発」と呼ぶことにしましたが、Grovesはこれが注目を集めると感じました。

エンジニア地区には通常、それらが位置する都市の名前が付けられていたため、マーシャルとグローブスは、このプロジェクトの陸軍の構成要素をマンハッタン地区と名付けることに同意した。

8月13日、レイボルドが新しい地区を創設する命令を出したとき、これは公式になりました。

非公式には、マンハッタンエンジニアディストリクト(MED)として知られていました。他の地区とは異なり、地理的な境界はなく、マーシャルは師団の技術者の権限を持っていました。

マーシャルは後に次のように認めた、「私は原子核分裂については聞いたことがありませんが、9000万ドルで4つのプラントを建設することはできません、]ニコルズが最近建設した単一のTNTプラント。ペンシルベニア州の費用は1億2,800万ドルでした。

彼らは、10から1000人の客を迎える準備をするようケータリング業者に指示するのとグローブスが比較した、桁違いの見積もりにも感銘を受けませんでした。

Stone & Websterの調査チームは、すでに生産工場のサイトを偵察していました。

軍需生産委員会は、テネシー州ノックスビル周辺の場所を推奨しました。

テネシー溪谷当局が十分な電力を供給でき、川が原子炉の冷却水を供給できる孤立した地域です。

いくつかのサイトを調査した後、調査チームはテネシー州エルザ近くの1つを選択しました。

コナントはすぐにそれを取得するよう助言し、スタイアーは同意したが、マーシャルは一時停止し、行動を起こす前にコナントの原子炉実験の結果を待った、予想されるプロセスのうち、ローレンスの電磁分離だけが、建設を開始するのに十分に進んでいるように見えた。

マーシャルとニコルズは、必要なリソースを集め始めました。

最初のステップは、プロジェクトの優先度の高い評価を取得することでした。

格付けの上位はAA-1からAA-4の降順でしたが、緊急用に予約された特別なAAA格付けもありました。

AA-1とAA-2のレーティングは必須の武器と装備に関するものだったので、Services and Supplyの要件とリソースの副主任であるルシアスD.必要が生じた場合、彼は重要な材料の要求に応じて喜んでAAA評価を提供した。

ニコルズとマーシャルはがっかりしました。AA-3は、ペンシルベニア州のニコルズのTNTプラントと同じ優先度でした。

軍事政策委員会

スーツを着た男と、制服を着た男が、ねじれた金属の山の周りで談笑している。

オープンハイマーとグローブス。

1945年9月、テストの爆発から2か月後、第二次世界大戦の終結直後のトリニティ実験の跡地で。白いオーバーシューズは、フォールアウトが靴底にくっつくのを防いだ。

ヴァネヴァー・ブッシュは、マーシャル大佐がプロジェクトを迅速に進められなかったこと、特にテネシーの場所を獲得できなかったこと、陸軍によってプロジェクトに割り当てられた低い優先度、ニューヨーク市の彼の本部の場所に不満を抱くようになった。

ブッシュは、より積極的なリーダーシップが必要であると感じ、ハーヴィー・バンディとマーシャル、サマーベル、スタイアの各将軍に彼の懸念について話しました。

彼は、プロジェクトが上級政策委員会の下に置かれることを望んでおり、高名な役員、できれば Styer を総監督として任命した。

Somervell と Styer は Groves をそのポストに選び、9月17日にこの決定を彼に通知し、マーシャル将軍は彼を准将に昇進するよう命じた。

マンハッタン計画に取り組んでいる学術科学者 グローブスの命令により、彼はレイボルドではなくサマーヴェルの直下に置かれ、マーシャル大佐がグローブスに責任を負うようになった。

グローブスはワシントン DC の新陸軍省ビルの5階に本部を置き、マーシャル大佐が連絡事務所を置いていた。

彼は1942年9月23日にマンハッタン計画の指揮を執った。

その日、彼はスティムソンが招集した会議に出席した。ブッシュ(コナンを補欠として)、スタイア、ウィリアム・R・パーネル少将からなる。

トールマンとコナントは後にグローブスの科学顧問に任命された。

9月19日、グローブスは軍需生産委員会の議長であるドナルド・ネルソンに会い、必要なときにいつでもAAA格付けを発行する広範な権限を求めた。

ネルソンは最初は戸惑ったが、グローブスが大統領のもとに行くと言ったとき、すぐに屈服した、Groves は、必要な場合を除き、AAA 格付けを使用しないことを約束しました。

プロジェクトの通常の要件では、AAA の評価は高すぎるが、AA-3 の評価は低すぎるのがすぐに判明しました。

長いキャンペーンの後、1944年7月1日にグローブスはいよいよ AA-1 の権限を取得した [54]。グローブスによると、「ワシントンでは、あなたは最優先事項の重要性に気づきました。ルーズベルト政権で提案されたほとんどすべてのことは最優先事項になります。

それは約1週間か2週間続き、その後、他の何かが最優先事項になります。

Groves の初期の問題の1つは、爆弾を設計および製造するグループである Project Y のディレクターを見つけることでした。

当然の選択は、3人の研究所長、Urey、Lawrence、または Compton のうちの1人でしたが、彼らは免れませんでした。

コンプトンは、すでに爆弾の設計概念に精通しているオッペンハイマーを推薦しました。

しかし、オッペンハイマーは行政の経験がほとんどなく、ユレイ、ローレンス、コンプトンとは異なり、ノーベル賞を受賞していませんでした。

オッペンハイマーの安全上の地位についても懸念があった。

彼の同僚の多くは共産主義者であり、その中には妻のキティ(キャサリン・オッペンハイマー)も含まれていた。

彼のガールフレンド、ジャン・タトロック。そして彼の兄弟、フランク・オッペンハイマー。1942年10月の電車の中での長い会話の中で、グローブスとニコルズは、オッペンハイマーが遠隔地に研究所を設立する際の問題を完全に理解しており、その所長に任命されるべきだと確信しました。

Groves は個人的にセキュリティ要件を放棄し、1943 年 7 月 20 日にオッペンハイマーに許可を発行した。

## 英国との連携

主な記事: マンハッタン計画への英国の貢献

イギリスとアメリカは核に関する情報を交換したが、当初は協力しなかった。

英国は 1941 年にブッシュとコナントが独自のプロジェクト (コードネーム チューブ・アロイズ) との協力を強化しようとする試みを拒否した。

なぜなら、英国は技術的主導権を共有し、米国が独自の原子爆弾を開発するのを助けることに消極的だったからである。

英米のプロジェクトのすべての研究開発費を支払うというルーズベルトからチャーチルに個人的な手紙を持ってきたアメリカの科学者は、ひどい扱いを受け、チャーチルはその手紙に返事をしませんでした。

その結果、米国は 1942 年 4 月という早い段階で、その提案が拒否された場合は単独で進めるべきであると決定した。

戦争の初期に重要な貢献をした英国人は、生き残るために戦っている間、そのような研究プログラムを実行するためのリソースを持っていませんでした。

その結果、チューブ・アロイズはすぐにアメリカの対応に後れをとった。

1942 年 7 月 30 日、チューブ・アロイズ担当大臣のジョン・アンダーソン卿はチャーチルに次のように助言しました。

私たちは今、「合併」に向けた真の貢献をしています。

すぐにほとんど、またはまったくなくなるだろ、その月、チャーチルとルーズベルトは、原子協力のための非公式の、書面による合意をした。

私たちは圧倒されます。

私たちは今、「合併」に真の貢献をしています。

制服を着た大柄な男と、スーツとネクタイを着た眼鏡をかけた痩せた男が机に座る。

グローブスは、英国ミッションのトップであるジェームズ・チャドウィックと会談する。

しかし、1942 年 8 月に示されるように、対等なパートナーシップの機会はまだ存在していませんでした。

イギリスは、費用を一切支払わずにプロジェクトを実質的に管理することを要求しませんでした。

1943 年までに、両国の役割は 1941 年後半から逆転した 1 月、コナントは英国に対し、特定の地域を除いて原子情報を受け取らないことを通知した。

イギリス人はチャーチル・ルーズベルト協定の破棄にショックを受けたが、カナダ国立研究評議会の CJ・マッケンジー長官はそれほど驚かず、「イギリスのグループが彼らの貢献の重要性を強調しているのを感じずにはいられない。アメリカ人と比較してコナントとブッシュが英国人に語ったように、命令は「上から」来た。

イギリスの交渉の立場は悪化していた。

アメリカの科学者たちは、アメリカはもはや外部の助けを必要としないと判断し、イギリスが戦後の原子力エネルギーの商業的利用を利用するのを防ぎたかったのです。

委員会は支持し、ルーズベルトはこれに同意し、情報の流れをイギリスが戦争中に使用できるもの、特に爆弾の設計に制



限することを制限した。

1943年初頭までに、英国は研究者と科学者をアメリカに送ることをやめ、その結果、アメリカ人はすべての情報共有をやめました。

イギリスはカナダのウランと重水の供給を止めてアメリカに再び共有させることを考えたが、カナダはそれらを生産するために

アメリカの供給を必要とした [64]。彼らは独立した核計画の可能性を調査し、1943年3月までに、コナントは英国の支援がプロジェクトのいくつかの分野に役立つと判断しました。

ジェームズ・チャドウィックと他の1人か2人の英国の科学者は、兵器設計の秘密を明らかにする危険性にもかかわらず、ロス・アラモスの爆弾設計チームがそれらを必要とするほど重要であった。

1943年8月、チャーチルとルーズベルトはケベック協定を交渉し、その結果、同じ問題に取り組んでいる科学者間の協力が再開されました。

しかし、英国は、爆弾に必要な大規模生産工場の建設に関するデータの制限に同意した。

その後の1944年9月のハイドパーク協定により、この協力は戦後まで延長された。

ケベック協定により、米国、英国、カナダの取り組みを調整するための統合政策委員会が設立されました。

スティムソン、ブッシュとコナントは連合政策委員会のアメリカ人メンバー、元 served ジョン・ディルとJ・ルウェリン大佐はイギリス人メンバー、クラレンス・ハウはカナダ人メンバーだった。

ルウェリンは1943年末に英国に戻り、委員会の委員にはロナルド・イアン・キャンベル卿が交代し、1945年初頭には駐米英国大使であるハリファックス卿が交代した。

DC, 1944年11月に、イギリスの合同参謀代表団の主任および統合政策委員会のメンバーの両方をフィールド元 Henry サー・ヘンリー・メイトランド・ウィルソンによって置き換えられた。

ケベック協定後に協力が再開されたとき、アメリカ人の進歩と支出はイギリス人を驚かせた。米国はすでに10億ドル以上(現在は120億ドル)を費やしており、1943年には英国は約50万ポンドを費やしていました。

このようにチャドウィックはマンハッタン計画への英国の関与を最大限に迫り、戦争中の独立した英国プロジェクトの希望を放棄した。

チャーチルの後ろ盾を得て、彼はグローブスからの援助要請がすべて尊重されるように努めた。

1943年12月にアメリカに到着したイギリス代表团には、ニールス・ボーア、オットー・フリッシュ、クラウス・フックス、ルドルフ・パリエルス、アーネスト・ティッタートンが含まれていた。

1944年の初めには、さらに多くの科学者が到着しました。

バークレーでローレンスと共にオリファントの下で働いていた35人は、既存の研究所グループに割り当てられ、ほとんどが終戦まで残った。

ロスアラモスに送られた19人も、主に爆縮と爆弾の組み立てに関連する既存のグループに加わりましたが、プルトニウム関連のグループには参加しませんでした。

ケベック協定の一部には、米国と英国の相互同意なしに核兵器を他国に対して使用しないことが明記されていました。

1945年6月、ウィルソンは、日本に対する核兵器の使用が統合政策委員会の決定として記録されることに同意した。

ケベック協定の一部は、米国と英国の相互同意なしに核兵器が他国に対して使用されないことを指定しました。

1944年6月、コンバインド政策委員会は、国際市場でウランとトリウム鉱石を調達するために、グローブスを議長とするコンバインド開発トラストを創設しました。

ベルギー領コンゴとカナダは、東ヨーロッパ以外の世界のウランの多くを保有しており、亡命中のベルギー政府はロンドンにありました。

制限されたアメリカの研究なしには供給のほとんどを使用できなかったため、イギリスはベルギーの鉱石のほとんどをアメリカに与えることに同意した。

1944年、トラストはベルギー領コンゴで鉱山を操業している会社から3,440,000ポンド(1,560,000kg)の酸化ウラン鉱石を購入しました。

米国財務長官ヘンリー・モーゲンソー・ジュニアにプロジェクトについて説明することを避けるために、通常の監査および管理の対象とならない特別勘定がトラストの資金を保持するために使用されました。

1944年から1947年にトラストを辞任するまでの間、

グローブスは、初期の英国の原子研究とマンハッタン計画への英国の科学者の貢献を高く評価したが、米国はそれらがなければ成功していたと述べた。

彼はまた、チャーチルは「ルーズベルト」の関心を高め続けていたので、原爆プロジェクトにとって最良の友人だった。

彼は、プロジェクトがどれほど重要であるかを彼に話して、いつも彼を興奮させた」と語った。

1946年のマクマホン法によってアメリカの核協力が一時的に終了した戦後のイギリスの独立した核兵器計画の成功には、イギリスの戦時参加が決定的に重要だった。

オークリッジ

主な記事: クリントン・エンジニア・ワークス

プロジェクトを引き継いだ翌日、グローブスはマーシャル大佐と一緒にテネシーへ列車で行き、そこで提案された場所を視察し、グローブスは感銘を受けた。

1942年9月29日、アメリカ陸軍工兵司令部次官ロバートP. パターソンは、工兵隊に土地収用56,000エーカー(23,000ヘクタール)の土地を350万ドルの費用で取得することを承認しました。

その後、さらに3,000エーカー(1,200ヘクタール)が取得されました。

約1,000の家族が、10月7日に発効した非難命令の影響を受けました。

抗議、上訴、および1943年の議会調査は無駄だった。

11 月半ばまでに、連邦保安官は農家のドアに退去するよう通知を張り付け、建設請負業者が入居していた。

一部の家族は、何世代にもわたって彼らの家だった農場を立ち去るように 2 週間前に通知されました。

1920 年代のグレート スモーキー山脈国立公園や 1930 年代のノリス ダムに道を譲るために追放された後、そこに定住した者もいた。

1945 年 3 月まで完了しなかったこの地域の土地取得の最終的な費用は約 260 万ドルで、1 エーカーあたり約 47 ドルになった。

オークリッジを軍事的許可なしには誰も立ち入ることができない完全な立入禁止区域を宣言する公布告第2号を提示されたとき、テネシー州知事のプレントイス・クーパーは怒ってそれを引き裂いた。

当初はキングストンデモリションレンジとして知られていたが、1943年初めに正式にクリントン・エンジニア・ワークス (CEW) と改名された。

ストーン & ウェブスターが生産施設に集中している間、建築およびエンジニアリング会社のスキッドモア、オーウィングス & メリルは 13,000 人の住宅コミュニティを設計および建設しました。

コミュニティはブラック オーク リッジの斜面にあり、そこからオーク リッジの新しい町の名前が付けられた。

1943 年 8 月、マーシャルに代わってマンハッタン エンジニアディストリクトの責任者としてニコルズが就任したとき、オーク リッジでの陸軍の存在感が高まった。

彼の最初の任務の 1 つは、地区の名前は変更されなかったが、地区本部をオークリッジに移すことであった。

1943 年 9 月、コミュニティ施設の管理は子会社を通じてターナー建設会社に委託され、Roane-Anderson Company (Oak Ridge が位置していた Roane 郡と Anderson 郡) William J. (Jenkins) Wilcox Jr. (1923–2013) や Warren Fuchs を含む化学技術者は、コードネーム「tuballoy tetroxide」として知られる 10% から 12% の濃縮ウラン 235 を作るための「必死の努力」の一部でした。

供給と材料の厳格なセキュリティと迅速な承認によって、オークリッジの人口はすぐに当初の計画をはるかに超えて拡大し、1945年5月に75,000人に達し、その時までに82,000人がクリントン・エンジニア・ワークスに、10,000人がローン・アンダーソンに雇用された。

コードネーム "tuballoy tetroxide" として知られており、厳しいセキュリティと供給と材料の迅速な承認を得ています、オークリッジの人口はすぐに当初の計画をはるかに超えて拡大し、1945年5月に75,000人に達し、その時までに82,000人がクリントン・エンジニア・ワークス[77]に、10,000人がローン・アンダーソンに雇用された。

コードネーム "tuballoy tetroxide" として知られており、厳しいセキュリティと供給と材料の迅速な承認を得ています。[90] オークリッジの人口はすぐに当初の計画をはるかに超えて拡大し、1945年5月に75,000人に達し、その時までに82,000人がクリントン・エンジニア・ワークスに、10,000人がローン・アンダーソンに雇用された。

美術写真家のジョセフィン・ヘリックと彼女の同僚であるメアリー・ステアーズは、オークリッジでの仕事を記録するのを手伝った。

ロスアラモス

主な記事：プロジェクトY

プロジェクト Y をオークリッジに配置するという案も検討されましたが、最終的には遠隔地に配置することになりました。

オープンハイマーの推奨により、適切な場所の検索は、オープンハイマーが牧場を所有していたニューメキシコ州アルバカーキの近くに絞り込まれました。

1942 年 10 月、マンハッタン地区のジョン・H・ダドリー少佐がその地域を調査するために派遣されました。

彼は、ニューメキシコ州ジェメズ・スプリングスの近くの場所を勧めた、11 月 16 日、オープンハイマー、グローブス、ダドリーらが現場を見学しました。

オープンハイマーは、現場を囲む高い崖が人々を閉所恐怖症に陥れるのではないかと恐れていたが、エンジニアは洪水の可能性を懸念していた、その後、一行はロスアラモス牧場学校の近くに移動した。

オープンハイマーは感銘を受け、このサイトに対する強い好みを表明した。

その自然の美しさとサングレ・デ・クリスト山脈の景色を引用して、プロジェクトに取り組む人々にインスピレーションを与えることが期待されていました。

技術者たちは、道路のアクセスが悪いことや、水の供給が十分かどうかを心配していたが、それ以外の点では理想的であると感じていた。

パターソンは 1942 年 11 月 25 日に敷地の取得を承認し、54,000 エーカー (22,000 ヘクタール) の土地の購入に 440,000 ドルを承認したが、そのうち 8,900 エーカー (3,600 ヘクタール) を除くすべてがすでに連邦政府によって所有されていた。

農務長官のクロード・R・ウィカードは、「軍事的必要が続く限り」、アメリカ合衆国森林局の土地の約 45,100 エーカー (18,300ha) の使用を陸軍省に許可した。

土地、新しい道路、そして後に 25 マイル (40 km) の送電線を敷設する権利が必要となり、最終的に戦時中に購入された土地は 45,737 エーカー (18,509.1 ヘクタール) になったが、消費されたのはわずか 414,971 ドルだった。

建設は、アリゾナ州ツーソンの MM Sundt Company と契約され、ニューメキシコ州サンタフェのウィラード C. クルーガー アンド アソシエイツが建築家およびエンジニアとして契約されました。

作業は 1942 年 12 月に開始されました。

ロスアラモス遺跡の地図、ニューメキシコ、1943-45

秘密だったので、ロスアラモスは「サイト Y」または「丘」と呼ばれていた [99]。戦争中にロスアラモスで生まれた赤ん坊の出

生証明書には、出生地がサンタフェの私書箱 1663 として記載されている。

当初、ロスアラモスは、オープンハイマーと他の研究者が陸軍に委託された軍事研究所であった。

オープンハイマーは自分に中佐の制服を注文することまでしたが、2人の主要な物理学者、ロバート・バッチャーとイジドル・ラビはその考えに難色を示した。

コナント、グローブス、オープンハイマーは妥協案を考案し、研究所は陸軍省との契約に基づいてカリフォルニア大学によって運営された。

シカゴ

主な記事: 冶金研究所

1942年6月25日、陸軍と科学研究開発局の評議会は、シカゴ南西部のレッドゲートウッズにプルトニウム生産のためのパイロットプラントを建設することを決定しました。

7月、ニコルズはクック郡森林保護区から1,025エーカー(415ヘクタール)の土地を借りる手配をし、ジェームズF.グラフトン大尉(1908年 - 1969年)がシカゴ地域の技術者に任命されました。

事業の規模がこの地域にとって大きすぎることがすぐに明らかになり、オークリッジに工場を建設し、シカゴに研究および試験施設を維持することが決定された。

レッドゲートウッズでのプラントの設立が遅れたため、コンプトンは冶金研究所にシカゴ大学のスタッグフィールドの観覧席の下に最初の原子炉を建設する権限を与えました。

原子炉には大量のグラファイトブロックとウランペレットが必要でした。

当時、純粋なウランの供給源は限られていました。

アイオワ州立大学のフランク・スペディングは、純粋なウランをわずか2トンしか生産できませんでした。

追加の3米トンの金属ウランは、その場しのぎのプロセスで急いで生産されたWestinghouse Lamp Plantから供給されました。

大きな四角い気球は、原子炉を包むためにグッドイヤータイヤによって建設された。

1942年12月2日、エンリコフェルミ率いるチームは、シカゴパイル-1として知られる実験炉で、最初の人工自律型核連鎖反応を開始しました。

反応が自立するようになる点は、「臨界に達する」として知られるようになった。

コンプトンはワシントンDCのコナントにコード化された電話でこの成功を報告し、「イタリアの航海士[フェルミ]がちょうど新しい世界に着陸した」と述べた。

1943年1月、グラフトンの後継者であるアーサーV.ピーターソン少佐は、原子炉の運転が人口密集地域にとって危険すぎると考えたため、シカゴパイル-1を解体してレッドゲートウッズで再組み立てするよう命じた。

Argonneサイトでは、最初の重水炉であるChicago Pile-3が1944年5月15日に臨界に達した[110][111]。戦後、レッドゲートに残っていた作戦は、約6マイル(9.7 km)離れたアルゴンヌ国立研究所の新しい場所に移った。

## ハンフォード

主な記事:ハンフォード・サイト

1942年12月までに、大規模な原子力事故という想定外の事態に備えて、オークリッジでさえ主要な人口密集地(ノックスビル)に近すぎると懸念が生じました。

Grovesは1942年11月に、プルトニウム製造施設の建設の元請業者としてデュポンを採用しました。

DuPontは標準原価と固定料金の契約を提案されましたが、会社の社長であるWalter S. Carpenter, Jr.は、いかなる種類の利益も望んでおらず、提案された契約を修正して、会社を買収から明示的に除外するよう依頼しました。

あらゆる特許権。これは受け入れられましたが、法的な理由により、わずか1ドルの手数料が合意されました。戦後、デュポンは早期の契約解除を求め、33セントを返さなければならなかった。

デュポンは、サイトをオークリッジの既存のウラン生産施設から遠く離れた場所に置くことを推奨した。

1942年12月、グローブスはフランクリン マティアス大佐とデュポンのエンジニアを派遣して、候補地を偵察しました。

Matthias は、ワシントン州リッチランド近くのハンフォード・サイトは「事実上すべての点で理想的」であると報告しました。

プルトニウムを生産する原子炉を冷却するのに十分な水を供給できるコロンビア川の近くにありました。

Groves は1月にこのサイトを訪れ、Hanford Engineer Works (HEW) を設立し、コードネームは「Site W」でした。

パターソン次官は2月9日に承認し、この地域の40,000 エーカー (16,000 ヘクタール) の土地を取得するために500万ドルを割り当てました。

連邦政府は、ホワイトブラフスとハンフォードの住民約1,500人、および近隣の入植地、およびその地域を使用していたワナプムや他の部族を移転させました。

土地を取得する前にすでに作付けされていた作物の補償をめぐる、農民との間で紛争が生じた。

スケジュールが許せば、陸軍は作物の収穫を許可したが、これが常に可能であるとは限らなかった[114]。土地の取得プロセスは長引いており、1946年12月のマンハッタン計画の終了まで完了しませんでした。

紛争は作業を遅らせませんでした。

冶金研究所とデュポンの原子炉設計の進歩は、プロジェクトの範囲を正確に予測するのに十分ではありませんでしたが、1943年4月に、推定25,000人の労働者の施設の建設が開始されました。

1944年7月までに、約1,200の建物が建てられ、約51,000人が建設キャンプに住んでいました。エリアエンジニアとして、マティアスはサイトの全体的な管理を行った。

最盛期には、建設キャンプはワシントン州で3番目に人口の多い町でした。

ハンフォードは、シカゴ市よりも多い900台以上のバスを運行していた [118]。ロスアラモスやオークリッジのように、リッチランドは立ち入りが制限されたゲートド コミュニティでしたが、典型的な戦時中のアメリカのブームタウンのように見えました。

## カナダのサイト

主な記事: モントリオール研究所

## ブリティッシュコロンビア

コミンコは1930年以来、ブリティッシュ コロンビア州のトレイルで電解水素を製造していました。1941年に、ユーリーは重水を製造できると提案しました。

75 MW の水力発電を消費する3,215セルで構成される既存の1,000万ドルのプラントに、二次電解セルが追加され、水中の重水素濃度が2.3%から99.8%に増加しました。

このプロセスのために、プリンストン大学のヒュー テイラーは最初の3段階用のプラチナオンカーボン触媒を開発し、ユーリーは第4段階のタワー用にニッケルクロミア触媒を開発しました。

最終的な費用は280万ドルでした。カナダ政府は1942年8月まで、このプロジェクトを正式に知りませんでした。

トレイルの重水生産は1944年1月に始まり、1956年まで続きました。

## オンタリオ

オンタリオ州ヨークリバーのサイトは、都市部から離れたモントリオール研究所で連合軍の活動を再開するために設立

されました。

オンタリオ州のディープリバーに新しいコミュニティが建設され、チームメンバーに住居と施設が提供されました。この場所は、オンタリオ州とケベック州の工業生産地域に近接していることと、大規模な軍事基地であるキャンプペタワフに隣接する鉄道の始点に近接していることから選ばれました。

オタワ川沿いに位置し、豊富な水にアクセスできました。新しい研究所の最初の所長はハンス・フォン・ハルバンでした。

1944年5月にジョン・コッククロフトが彼の後任となり、1946年9月にベネット・ルイスが後を継ぎました。ZEEP (ゼロエネルギー実験炉) として知られるパイロット原子炉がカナダで最初の原子炉となり、米国以外で最初に完成しました。

米国は、1945年9月に危機的状況に陥ったとき、ZEEPは1970年まで研究者によって使用され続けた。

戦争中に設計されたより大きな10 MW NRX 原子炉が完成し、1947年7月に臨界に達した。

## ノースウェスト準州

ポート・ラジウムのエルドラド鉱山は、ウラン鉱石の供給源でした。

## 重水サイト

主な記事：P-9プロジェクト

デュポンの原子炉の設計はヘリウム冷却であり、減速材としてグラファイトを使用したが、デュポンは、グラファイト原子炉

の設計が何らかの理由で実行不可能であることが判明した場合に備えて、バックアップとして重水を使用することに関心を示した。

この目的のために、1か月あたり3ショートトン(2.7トン)の重水が必要になると見積もられました。

P-9プロジェクトは、重水生産プログラムの政府のコードネームでした。当時建設中だったトレイルの工場では、月に0.5米トン(0.45トン)を生産できたため、追加の生産能力が必要でした。

したがって、グローブスはデュポンに、ウェストバージニア州モーガンタウン近くのモーガンタウン兵器工場に重水設備を設置することを許可した。

インディアナ州ダナとニューポート近くのウォバッシュ川兵器工場。そしてアラバマ兵器工場、アラバマ州チルダースバーグとシラコーガの近く。Ordnance Works として知られており、Ordnance Department の契約に基づいて支払いが行われましたが、それらは陸軍工兵隊によって建設および運用されました。

アメリカの工場は、Trail とは異なるプロセスを使用しました。重水のわずかに高い沸点を利用して、蒸留によって重水が抽出された。

## ウラン

### 鉱石

このプロジェクトの主要な原材料はウランであり、原子炉の燃料として使用され、プルトニウムに変換される原料として使用され、濃縮された形で原子爆弾自体に使用されました。

1940年には、コロラド、カナダ北部、チェコスロバキアのヨアヒムスタール、ベルギー領コンゴの4つの主要なウラン鉱床が知られている。

ヨアヒムスタールを除くすべてが同盟国の手にありました。

1942年11月の調査では、プロジェクトの要件を満たすのに十分な量のウランが利用可能であると判断されました。

ニコルズは、酸化ウランに輸出規制を課すよう国務省と取り決め、スタテン島の倉庫に保管されていたベルギー領コンゴ産のウラン鉱石1,200ショートトン (1,100 トン) と残りの在庫について交渉した。コンゴに保管されている採掘された鉱石。

彼は、オンタリオ州ポートホープの精錬所から鉱石を購入し、100 トンのロットで出荷することについて、エルドラド金鉱と交渉しました。

カナダ政府はその後、支配権を取得するまで会社の株を買い取った。

これらの購入により戦時中の必要を満たすのに十分な供給が保証されましたが、アメリカとイギリスの指導者は、世界のウラン鉱床をできるだけ多く支配することが自国の利益になると結論付けました。

最も豊富な鉱石源はベルギー領コンゴのシンコロブエ鉱山でしたが、浸水して閉鎖されました。

ニコルズは、鉱山を所有していたユニオン・ミニエール・デュ・オー・カタンガの取締役であるエドガー・センジエと、その再開と将来の産出物全体の米国への売却について交渉しようとしたが失敗した。

その後、この問題は統合政策委員会で取り上げられた。ユニオン・ミニエールの株式の30%が英国の利益によって支配されていたため、英国が交渉の主導権を握った。

ジョン・アンダーソン卿とジョン・ウィナント大使は、1944年5月にセンジエとベルギー政府との間で、鉱山を再開し、1,720米トン (1,560 トン) の鉱石を1ポンドあたり1.45ドルで購入するという契約を結んだ。

鉱石のイギリスとカナダへの依存を避けるために、グローブスはまた、コロラド州ウラヴァンにあるUS Vanadium Corporationの備蓄品の購入を手配しました。

コロラドでのウラン採掘では、約 800 米トン (730 トン) の鉱石が産出された。

ミズーリ州セントルイスにある Mallinckrodt Incorporated は、未加工の鉱石を硝酸に溶かして硝酸ウラニルを製造しました。

次に、液液抽出プロセスでエーテルを加えて、硝酸ウラニルから不純物を分離しました。これを加熱して三酸化ウランを形成し、これを還元して高純度の二酸化ウランとした。

1942年7月までに、マリクロットは1日に大量の高純度の酸化物を生産していましたが、これをウラン金属に変換することは、最初は請負業者のウェスティングハウスとメタルハイドライドにとってより困難であることがわかりました。

生産が遅すぎ、品質が容認できないほど低かった。

冶金研究所の特別支部がアイオワ州エイズのアイオワ州立大学に、代替案を調査するためにフランク・スペディングの下で設立された。

これはエイズプロジェクトとして知られるようになり、そのエイズプロセスは1943年に利用可能になりました。

#### 同位体分離

天然ウランは99.3%のウラン238と0.7%のウラン235で構成されていますが、後者だけが核分裂性です。化学的に同一のウラン235は、より豊富な同位体から物理的に分離する必要があります。

ウラン濃縮にはさまざまな方法が検討され、そのほとんどがオークリッジで行われた。

最も明白な技術である遠心分離機は失敗しましたが、電磁分離、ガス拡散、および熱拡散技術はすべて成功し、プロジェクトに貢献しました。



1943年2月、Grovesは、いくつかの植物の出力を他の植物の入力として使用するというアイデアを思いつきました [135]。

## 遠心分離機

遠心分離法は、1942年4月に唯一の有望な分離法と見なされた。Jesse Beamsは1930年代にバージニア大学でそのようなプロセスを開発しましたが、技術的な困難に直面しました。

このプロセスには高い回転速度が必要でしたが、特定の速度では、機械を分解する恐れのある調和振動が発生しました。

したがって、これらの速度をすばやく加速する必要がありました。

1941年に彼は、ウランの唯一の既知の気体化合物である六フッ化ウランを使い始め、ウラン 235 を分離することができました。

コロンビア大学で、ユーレイはカール・コーエンにプロセスを調査させ、ウェスティングハウスが建設を請け負った遠心分離装置の設計を可能にする一連の数学的理論を作成した。

これを生産工場に拡張することは、手ごわい技術的挑戦でした。

UreyとCohenは、1日あたり1キログラム(2.2ポンド)のウラン 235 を生成するには、1メートル(3フィート3インチ)のローターを備えた最大50,000の遠心分離機、または4メートル(13フィート)のローターを備えた10,000の遠心分離機が必要であると推定しました。4メートルのローターを作ることができた。非常に多くのローターを高速で連続運転し続けるという見通しは困難に思え、ビームスが実験装置を実行したとき、彼は予測された収量の60%しか得られず、より多くの遠心分離機が必要になることを示しました。

Beams、Urey、およびCohenは、プロセスの効率を高めることを約束する一連の改善に取り組み始めました。

しかし、モーター、シャフト、ベアリングが高速で頻繁に故障し、パイロットプラントでの作業が遅れました。

遠心分離機法はマンハッタン計画によって放棄されたが、戦後、ソ連で開発されドイツ人技術者を捕らえたジッペ式遠心分離機の導入により、研究は大きく進展した。

これは最終的に、第二次世界大戦中に使用された他の分離方法よりもはるかに経済的であり、ウラン同位体分離の好ましい方法になりました。

## 電磁分離

主な記事：Y-12プロジェクト

電磁同位体分離は、カリフォルニア大学放射線研究所のローレンスによって開発されました。この方法では、標準的な実験室の質量分析計とサイクロトロン磁石のハイブリッドであるカルトロンと呼ばれる装置を使用していました。

この名前は、カリフォルニア、大学、サイクロトロンという言葉に由来しています。

電磁プロセスでは、磁場が質量に応じて荷電粒子を偏向させた。

このプロセスは、科学的に洗練されておらず、工業的に効率的でもありませんでした。

ガス拡散プラントや原子炉と比較して、電磁分離プラントは、より多くの希少な材料を消費し、運転により多くの人件費を必要とし、建設にはより多くの費用がかかります。それにもかかわらず、このプロセスは実証済みの技術に基づいており、リスクが少ないため、承認されました。さらに、それは段階的に構築することができ、マーシャルとニコルズは、電磁同位体分離プロセスには5,000米トン(4,500トン)の銅が必要であることを発見しました。

ただし、銀は11:10の比率で置き換えることができます。

1942年8月3日、ニコルズはダニエル・W・ベル財務長官と会談し、ウェストポイント地金保管庫から6,000トンの銀地金

を移送するよう求めた。

「若い男」ベルは彼に言った、「あなたは銀をトンで考えるかもしれませんが、財務省は常に銀をトロイオンスで考えるでしょう。

最終的には14,700ショートトン(13,300トン; 430,000,000トロイオンス)が使われた。

1,000 トロイオンス (31 kg) の銀の棒は円筒形のビレットに鑄造され、ニュージャージー州ベイウエイのフェルプス ドッジに運ばれ、そこで厚さ 0.625 インチ (15.9 mm)、幅 3 インチ (76 mm)、幅 3 インチ (76 mm) のストリップに押し出されました。

長さ 40 フィート (12 m)。これらは、ウィスコンシン州ミルウォーキーのアリス・チャルマーズによって磁気コイルに巻かれました。

戦後、すべての機械は解体されて清掃され、機械の下の床板は引き裂かれ、燃やされて微量の銀が回収されました。

最終的に、失われたのは 3,600,000 分の 1 だけでした。

最後の銀は 1970 年 5 月に返還された。

Y-12 と呼ばれるようになる電磁分離プラントの設計と建設の責任は、1942 年 6 月に S-1 委員会によってストーン & ウェブスターに割り当てられました。

アルファ レーストラック、およびベータ レーストラックとして知られる最終処理用の 2 つのユニット。

1943 年 9 月、グローブスはアルファ II として知られる、さらに 4 つの競馬場の建設を承認しました。

建設は 1943 年 2 月に始まりました。

10 月に予定通りにプラントをテストのために立ち上げたとき、14 トンの真空タンクは磁石の力でずれてしまい、よりしっかりと固定する必要がありました。

磁気コイルがショートし始めると、より深刻な問題が発生しました。12 月、Groves は磁石を壊して開けるように命じましたが、内部に錆がいくつか見つかりました。

その後、グローブスは競馬場を解体し、磁石を工場に戻して清掃するよう命じた。

パイプと付属品を洗浄するために、現場に酸洗工場が設立されました。

2 番目のアルファ I は 1944 年 1 月末まで稼働していませんでした。

最初のベータと最初と 3 番目のアルファ I は 3 月にオンラインになり、4 番目のアルファ I は 4 月に稼働しました。

4 つのアルファ II 競馬場は、1944 年 7 月から 10 月の間に完成しました。

テネシー・イーストマンは、Y-12 を通常のコストと固定料金で管理する契約を結んでおり、料金は月額 22,500 ドルに加えて、最初の 7 つの競馬場については競馬場ごとに 7,500 ドル、追加の競馬場ごとに 4,000 ドルであった。

Calutron は当初、バグを取り除き、合理的な稼働率を達成するためにバークレーの科学者によって運用されました。

彼らはその後、高校教育しか受けていない訓練を受けたテネシー・イーストマンのオペレーターに引き渡されました。

ニコルズはユニットの生産データを比較し、若い「ヒルビリー」の女の子のオペレーターが彼の博士号を上回っていることをローレンスに指摘した。

彼らは生産競争に同意し、ローレンスは敗北し、テネシー・イーストマンの労働者と監督者の士気を高めた。少女たちは「理由を説明しないように兵士のように訓練された」一方、「Y-12 は当初、ウラン 235 含有量を 13% から 15% にまで濃縮し、1944 年 3 月に最初の数百グラムをロスアラモスに出荷しました。

最終製品として得られたのは、ウラン フィードの 5,825 分の 1 のみでした。

残りの大部分は、その過程で機器に飛び散りました。

熱心な回収努力により、1945 年 1 月までに生産量がウラン 235 飼料の 10% にまで引き上げられました。

2 月、アルファ競馬場は、新しい S-50 熱拡散プラントからわずかに濃縮された (1.4%) 飼料を受け取り始めました。

翌月、K-25 ガス拡散プラントから強化された (5%) フィードを受け取りました。

8 月までに、K-25 はベータ軌道に直接供給するのに十分に濃縮されたウランを生産していた]。

## ガス拡散

主な記事: K-25

同位体分離の最も有望であると同時に最も困難な方法は、ガス拡散でした。グラハムの法則では、気体の浸出速度はその分子量の平方根に反比例するため、半透膜と 2 つの気体の混合物を含む箱では、軽い分子ほど容器から排出されます。

より重い分子よりも速く。コンテナから出るガスは軽い分子がいくらか濃縮されていますが、残留ガスはいくらか枯渇しています。

アイデアは、そのようなボックスをポンプと膜のカスケードに形成し、各段階がわずかに濃縮された混合物を含むようにするというものでした。

このプロセスの研究は、コロンビア大学で、ハロルド・ユーリー、カール・P・コーエン、ジョン・R・ダニングを含むグループによって行われました。

1942 年 11 月、軍事政策委員会は 600 段のガス拡散プラントの建設を承認した。

12 月 14 日、MW ケログは、コードネーム K-25 のプラント建設の提案を受け入れました。

原価加算契約が交渉され、最終的に合計 250 万ドルになりました。

ケログの副社長の 1 人であるパーシヴァル C. キースが率いる、ケログと呼ばれる別の企業体がこのプロジェクトのために創設された。

プロセスは手ごわい技術的困難に直面しました。

腐食性の高いガスである六フッ化ウランを使用する必要があり、代替品が見つからず、モーターとポンプは真空気密で不活性ガスで密閉する必要があります。

最大の問題は、バリアの設計でした。

このバリアは、強く、多孔質で、六フッ化ウランによる腐食に対して耐性がなければなりませんでした。

これに対する最良の選択はニッケルのようでした。エドワード・アドラーとエドワード・ノリスは、電気メッキされたニッケルからメッシュバリアを作成しました。

プロセスをテストするためにコロンビアに 6 段階のパイロットプラントが建設されましたが、ノリス・アドラーのプロトタイプ

イブはもろすぎることが判明しました。

競合する障壁は、Kellex、Bell Telephone Laboratories、および Bakelite Corporation によって粉末ニッケルから開発されました。

1944 年 1 月、Groves は Kellex 障壁の製造を命じた。

K-25 の Kellex の設計では、54 の隣接する建物を含む 4 階建ての長さ 0.5 マイル (0.80 km) の U 字型構造が必要でした。

これらは 9 つのセクションに分けられました。

これらの中には、6 つのステージのセルがありました。

セルは、セクション内で独立して、または連続して操作できます。

同様に、セクションは個別に、または単一のカスケードの一部として操作できます。

調査隊は、1943 年 5 月に 500 エーカー (2.0 km<sup>2</sup>) の敷地を区画することで建設を開始しました。

1943 年 10 月に本館の工事が始まり、1944 年 4 月 17 日には 6 段階のパイロットプラントの運転準備が整いました。

プラントの上段をキャンセルし、代わりに K-27 として知られる 540 段のサイドフィードユニットを設計および製造するようにケレックスに指示しました。

ケレックスは 1945 年 9 月 11 日に最後のユニットを運転請負業者のユニオンカーバイドとカーボンに譲渡しました。

生産工場は 1945 年 2 月に操業を開始し、カスケード後のカスケードがオンラインになるにつれて、製品の品質が向上しました。

1945 年 4 月までに、K-25 は 1.1% 濃縮され、S-50 熱拡散プラントの出力が飼料として使用され始めました。

翌月に生産された一部の製品は、7% 近くの濃縮度に達しました。

8 月には、2,892 ステージの最後のステージが稼働を開始しました。

K-25 と K-27 は、戦後初期にその潜在能力を最大限に発揮し、他の生産工場を凌駕し、新世代の植物の原型となった。

## 熱拡散

主な記事：S-50プロジェクト

熱拡散プロセスは、シドニー チャップマンとデビッド エンスコグの理論に基づいており、混合ガスが温度勾配を通過するとき、重いガスはコールドエンドに集中し、軽いガスはウォームエンドに集中する傾向があると説明しました。

高温のガスは上昇し、低温のガスは下降する傾向があるため、これは同位体分離の手段として使用できます。

このプロセスは、1938 年にドイツで Klaus Clusius と Gerhard Dickel によって最初に実証されました。

これは米国海軍の科学者によって開発されましたが、マンハッタン計画で使用するために最初に選択された濃縮技術の 1 つではありませんでした。

これは主にその技術的実現可能性に対する疑念によるものであったが、陸軍と海軍の間のサービス間の競争も一因となった。

海軍研究所はフィリップ・アベルソンの指揮の下で研究を続けたが、マンハッタン計画との接触はほとんどなかった。

1944年4月、ロスアラモスで兵器開発を担当した海軍士官ウィリアム・S・パーソンズ大尉がオッペンハイマーに前向きな進歩のニュースをもたらした。海軍の熱拡散実験で、オッペンハイマーはグローブスに手紙を書き、熱拡散プラントの出力を Y-12 に供給できることを示唆した。

グローブスは、ウォーレン・K・ルイス、エガー・マーフリー、リチャード・トルマンからなる委員会を設置してアイデアを調査し、350万ドルの費用がかかる熱拡散プラントは、1週間に50キログラム(110ポンド)のウランを濃縮して、ほぼ0.9%のウランにできると見積もった。

-235。グローブスは1944年6月24日にその建設を承認した。

Groves は、オハイオ州クリーブランドの HK Ferguson Company と契約し、S-50 と呼ばれる熱拡散プラントを建設しました。

グローブスのアドバイザーであるスタンダード・オイルのカール・コーエンとワイ・トンプソンは[166]、建設には6ヶ月かかると見積もった。

グローブスはファーガソンに4つだけ与えた。高さ 15 m (48 フィート) の拡散柱 2,142 本を 21 ラックに配置する計画が立てられました。

各カラムの内側には、3本の同心円管がありました。

近くの K-25 発電所から 100 ポンド/平方インチ (690 kPa) の圧力と 545 °F (285 °C) の温度で得られた蒸気は、最も内側の 1.25 インチ (32 mm) のニッケルパイプを通過して下方に流れました。

155 °F (68 °C) の水が最も外側の鉄パイプを通過して上向きに流れている間、真ん中の銅管に六フッ化ウランが流れ作業は 1944 年 7 月 9 日に開始され、S-50 は 9 月に部分的な運用を開始しました。

Ferguson は、Fercleve として知られる子会社を通じて工場を運営していた。工場は 10 月にわずか 10.5 ポンド (4.8 kg) の 0.852% ウラン 235 を生産しました。

漏れにより生産が制限され、次の数か月間で強制的に閉鎖されたが、1945年6月には12,730ポンド(5,770kg)が生産された。

1945年3月までに、21のすべての生産ラックが稼働していました。当初、S-50の出力はY-12に供給されていましたが、1945年3月から、3つの濃縮プロセスすべてが連続して実行されました。

S-50が最初の段階になり、0.71%から0.89%に濃縮されました。この物質は、K-25プラントのガス拡散プロセスに供給され、約23%に濃縮された製品が生成されました。

これはY-12に供給され[169]、核兵器に十分な約89%にまで上昇した。

#### U-235生産総量

1945年7月までに、ウラン235が89%に濃縮された約50キログラム(110ポンド)のウランがロスアラモスに運ばれました。

50kg全体が50%濃縮され、平均で約85%濃縮され、リトルボーイで使用された。

#### プルトニウム

マンハッタン計画が追求した第2の開発ラインでは、核分裂性元素プルトニウムが使用されました。自然界には少量のプルトニウムが存在しますが、大量のプルトニウムを得る最良の方法は、原子炉内で天然ウランに中性子を照射することです。

ウラン238はウラン239に核変換され、急速に崩壊し、最初はネプツニウム239に、次にプルトニウム239になる。

少量のウラン 238 のみを変換されるため、プルトニウムは、残りのウラン、初期不純物、および核分裂生成物から化学的に分離する必要があります。

X-10黒鉛リアクター

主な記事: X-10 グラファイトリアクター

1943年3月、デュポンはオークリッジの112エーカー(0.5 km<sup>2</sup>)の敷地にプルトニウムプラントの建設を開始しました。

ハンフォードの大規模生産施設のパイロットプラントとして意図されたもので、空冷 X-10 グラファイトリアクター、化学分離プラント、およびサポート施設が含まれていました。

その後ハンフォードに水冷式原子炉を建設する決定があったため、真のパイロットとして操業したのは化学分離プラントだけであった。

X-10 グラファイトリアクターは、各辺の長さ24フィート(7.3 m)、重量約1,500米トン(1,400トン)の巨大なグラファイトブロックで構成され、7フィート(2.1 m)の高密度コンクリートで囲まれています。

放射線シールド。[172]

最大の困難は、Mallinckrodt と Metal Hydrides によって生成されたウランスラグで発生しました。

これらは、腐食と核分裂生成物の冷却システムへの漏れを避けるために、何らかの形でアルミニウムでコーティングする必要がありました。

Grasselli Chemical Company は、溶融めっきプロセスの開発を試みましたが、成功しませんでした。

そんな中、アルコアは缶詰に挑戦。フラックスレス溶接の新しいプロセスが開発され、缶の97%が標準の真空テストに合格しましたが、高温テストでは50%を超える失敗率が示されました。

それにもかかわらず、生産は1943年6月に始まりました。冶金研究所は最終的にゼネラル・エレクトリックの助けを借りて改良された溶接技術を開発し、1943年10月に生産プロセスに組み込まれました。

フェルミとコンプトンが監視した X-10 黒鉛原子炉は、1943年11月4日に約30米トン(27トン)のウランを抱えて臨界に達した。

1週間後、負荷が36米トン(33トン)に増加し、発電量が500 kWに増加し、月末までに最初の500 mgのプルトニウムが生成されました。

時間の経過とともに改良が加えられ、1944年7月に出力が4,000 kWに引き上げられました。

X-10 は、1945年1月まで生産工場として稼働し、その後、研究活動に引き継がれました。

ハンフォード原子炉

主な記事: ハンフォード・サイト

オークリッジの原子炉には迅速な建設を容易にするために空冷設計が選択されましたが、これははるかに大きな生産用原子炉には非現実的であることが認識されました。

冶金研究所とデュポンによる初期の設計では、冷却にヘリウムを使用していたが、水冷式の原子炉の方が簡単で、安価で、より迅速に構築できると判断した。

このデザインは1943年10月4日まで利用可能になりませんでした。

その間、マティアスは宿泊施設を建設し、道路を改善し、鉄道の分岐器を建設し、電気、水道、電話線を改善することにより、ハンフォード・サイトの改善に集中した。

オークリッジと同様、1944年3月にハンフォードで開始されたウランスラグの缶詰で最も困難に遭遇しました。

泥や不純物を取り除くために漬け込み、青銅、錫、アルミニウム - シリコン合金の熔融液に浸し、油圧プレスを使用して缶詰にしました。

その後、アルゴン雰囲気下でアーク溶接を使用して蓋をしました。

最後に、穴や溶接不良を検出するための一連のテストが行われました。

残念なことに、ほとんどの缶詰のナメクジは最初はテストに失敗し、結果として1日あたり数個の缶詰のナメクジしか生産されませんでした。

しかし、着実な進展が見られ、1944年6月までに生産は増加し、1944年8月に予定通りに原子炉Bを起動するのに十分な缶詰のナメクジが利用可能になると思われた。

1943年10月10日に、計画された6基の250 MW 原子炉の最初の原子炉Bの作業が開始された。

原子炉複合体には、AからFの文字指定が与えられ、B、D、Fサイトが最初に開発されるように選択されました。

これにより、原子炉間の距離が最大化されるためです。

それらは、マンハッタン計画中に建設された唯一のものである。

約390米トン(350トン)の鋼鉄、17,400立方ヤード(13,300 m<sup>3</sup>)のコンクリート、50,000個のコンクリートブロック、71,000個のコンクリートブロックが、120フィート(37 m)の高さの建物を建設するために使用されました。

原子炉自体の建設は1944年2月に開始された。

最初のスラグを挿入したコンプトン、マティアス、デュポンのクロフォードグリーンウォルト、レオナウッズ、フェルミが見守った後、原子炉は1944年9月13日に起動されました。

9月27日の午前0時過ぎに、オペレーターは生産を開始するために制御棒を引き抜き始めました。

最初はすべて順調に見えましたが、03:00頃に出力レベルが低下し始め、06:30までに原子炉は完全に停止しました。

冷却水に漏れや汚染がないか調べました。

翌日、原子炉は再び始動したが、再び停止した。

FermiはChien-Shiung Wuに連絡を取り、彼は問題の原因をキセノン-135による中性子被毒であると特定しました。

これは9.2時間の半減期を持っています [184]。Fermi、Woods、Donald J. Hughes、John Archibald Wheelerはその後、キセノン-135の核断面積を計算したが、これはウランの30,000倍であることが判明した。

デュポンのエンジニア、ジョージグレイブスは、1,500本のチューブを円形に配置した冶金研究所の当初の設計から逸脱し、コーナーを埋めるためにさらに504本のチューブを追加しました。

科学者たちは当初、この過剰設計は時間とお金の無駄だと考えていたが、フェルミは、2,004本のチューブすべてを装填することで、原子炉が必要な出力レベルに達し、効率的にプルトニウムを生成できることに気付いた。

原子炉 D は 1944 年 12 月 17 日に、原子炉 F は 1945 年 2 月 25 日に始動した。

## 分離プロセス

その間、化学者たちは、プルトニウムの化学的性質が知られていないときに、ウランからプルトニウムをどのように分離できるかという問題を考慮しました。

チャールズ M. クーパー率いるチームは、1942 年に冶金研究所で入手可能な微量のプルトニウムを使用して、ウランとプルトニウムを分離するフッ化ランタン法を開発し、パイロット分離プラントに選択されました。

2 番目の分離プロセスであるリン酸ビスマス プロセスは、その後 Seaborg と Stanly G. Thomson によって開発されました。

このプロセスは、リン酸ビスマスの溶液中でプルトニウムの酸化状態を +4 と +6 の間で切り替えることによって機能しました。

前の状態では、プルトニウムが沈殿していました。

後者では、それは溶液中に留まり、他の生成物が沈殿した。[189]

グリーンウォルトはフッ化ランタンの腐食性のためにリン酸ビスマスプロセスを支持し、ハンフォード分離プラントに選択された、[190] X-10 がプルトニウムの生産を開始すると、パイロット分離プラントがテストされました。

最初のバッチは 40% の効率で処理されましたが、次の数か月でこれは 90% に引き上げられました。

ハンフォードでは、最初は 300 エリアの設置が最優先されました。

これには、材料のテスト、ウランの準備、および機器の組み立てと校正のための建物が含まれていました。

建物の 1 つはウラン スラッグの缶詰設備を収容し、別の建物には小さな試験用原子炉が含まれていました。

高い優先度が割り当てられたにもかかわらず、300 地域の施設の独特で複雑な性質と、戦時中の労働力と物資の不足のために、300 地域での作業は予定より遅れた。

初期の計画では、200-West と 200-East として知られる各地域に 2 つの分離プラントを建設することを求めていました。

これはその後、200-West の T および U プラントの 2 つと、200-East の B プラントの 1 つに削減されました。

各分離プラントは 4 つの建物で構成されていました: プロセス セルの建物または「峡谷」(221 として知られています)、濃縮の建物、浄化の建物および雑誌ストア峡谷はそれぞれ長さ 800 フィート (240 m)、幅 65 フィート (20 m) であった。

それぞれが 17.7 x 13 x 20 フィート (5.4 x 4.0 x 6.1 m) のセルで構成されていた。

221-T と 221-U の作業は 1944 年 1 月に始まり、前者は 9 月に、後者は 12 月に完了しました。

221-B ビルは 1945 年 3 月に続きました。

高レベルの放射能が含まれていたため、分離プラントでのすべての作業は、1943 年には前代未聞の、閉回路テレビを使用した遠隔操作で行う必要がありました。

天井クレーンと特別に設計されたツールの助け。224 棟の建物は、処理する材料が少なく、放射能が少なかつたため、より小さくなっています。



224-T と 224-U の建物は 1944 年 10 月 8 日に完成し、224-B は 1945 年 2 月 10 日に完成しました。

プラントは完成し、方法は年末までに選択されました。

## 武器のデザイン

主な記事：プロジェクト Y

1943 年には、プルトニウムを搭載した銃型核分裂兵器 Thin Man の開発が進められました。プルトニウムの性質に関する最初の研究は、サイクロトロンによって生成されたプルトニウム 239 を使用して行われました。

ロス アラムスは 1944 年 4 月にクリントン X-10 原子炉からプルトニウムの最初のサンプルを受け取り、数日以内にエミリオ セグレが問題を発見しました。

サイクロトロンプルトニウムの割合。シーボークは 1943 年 3 月に、プルトニウム 239 の一部が中性子を吸収してプルトニウム 240 になると正確に予測していた。

これにより、原子炉プルトニウムは銃タイプの兵器での使用には適さなくなった。

プルトニウム 240 は連鎖反応をあまりにも早く開始し、反応したプルトニウムの最小量で臨界質量を分散させるのに十分なエネルギーを放出する予備爆発を引き起こします (立ち消え)。

より高速な銃が提案されましたが、非現実的であることが判明しました。

プルトニウム 240 は、ウラン 238 からのウラン 235 よりもプルトニウム 239 からの分離がさらに難しいため、同位体を分離する可能性が検討され、拒否されました。

爆縮と呼ばれる別の爆弾設計方法の研究は、物理学者セス・ネッダーマイヤーの指示の下で以前に開始されました。

爆縮は、核分裂性物質の未臨界球をより小さく、より高密度の形に粉碎するために爆薬を使用しました。

核分裂性原子が密集すると、中性子捕獲率が高くなり、その質量が臨界質量になります。

金属は非常に短い距離を移動する必要があるため、銃による方法よりもはるかに短い時間で臨界質量が組み立てられます。

1943 年と 1944 年初頭の爆縮に関する Neddermeyer の調査は有望であるが、理論と工学の観点からこの問題が銃の設計よりもはるかに難しいことも明らかにした。

1943 年 9 月、徹甲弾に使用される成形 with 薬の経験があるジョン・フォン・ノイマンは、爆縮は事前爆発と不完全核爆発の危険性を減らすだけでなく、核分裂性物質をより効率的に使用できると主張した。

彼は、Neddermeyer が取り組んでいた円筒形の代わりに、球形の形状を使用することを提案しました。

1944 年 7 月までに、オープンハイマーはプルトニウムを銃の設計に使用することはできないと結論付け、爆破を選択しました。

ファットマンというコードネームの爆縮設計への取り組みが加速したのは、1944 年 8 月にオープンハイマーが爆縮に集中するためにロス アラムス研究所の抜本的な再編成を実施したときである。

爆縮兵器を開発するためにロスアラモスに2つの新しいグループが作られ、爆発物の専門家であるジョージ・キスチャコフスキーが率いる X (爆発物) 部門とロバート・バッチャーの下で G (ガジェット) 部門である。

フォンノイマンと T (理論上の) ディビジョン、特にルドルフパイエルスが考案した新しい設計では、低速と高速の

両方の高性能爆薬を組み合わせ、爆発を球形に集中させるために爆薬レンズを使用した。

適切な形状と速度で爆発するレンズの設計は、遅く、難しく、イライラすることが判明した。

さまざまな爆発物がテストされた後、高速爆発物として組成 B、低速爆発物としてバラトールに落ち着く。

最終的なデザインはサッカーボールに似ていて、20 個の六角形と 12 個の五角形のレンズがあり、それぞれの重量は約 80 ポンド (36 kg) でした。

爆発を適切に行うには、高速で信頼性が高く安全な電気雷管が必要であり、信頼性のためにレンズごとに 2 つずつあった。

したがって、ルイス・アルバレスが率いるグループによってロスアラモスで開発された新しい発明である、起爆橋線起爆装置を使用することが決定されました。

それらの製造に関する契約がレイセオンに与えられた。

衝撃波の収束挙動を研究するために、ロバート・サーバーは短寿命の放射性同位元素を使用した RaLa 実験を考案しました。

ランタン-140、ガンマ線の強力なソース。

ガンマ線源は、爆薬レンズに囲まれた金属球の中心に置かれ、爆薬レンズは電離箱の中にもありました。

これにより、爆発の X 線映画を撮影することができました。

レンズは、主にこの一連のテストを使用して設計されました。

ロスアラモス計画の歴史の中で、デイビッド・ホーキンスは次のように書いている。

爆薬の中には、厚さ 4.5 インチ (110 mm) のアルミニウム製のプッシャーがあり、比較的低密度の爆薬から次の層、つまり厚さ 3 インチ (76 mm) の天然ウランのタンパーへのスムーズな移行を提供しました。

その主な仕事は臨界質量をできるだけ長く維持することでしたが、中性子をコアに反射して戻すことにもなります。一部が分裂する可能性もあります。

外部の中性子による事前爆発を防ぐために、タンパーはホウ素の薄い層でコーティングされました。

形状がウニに似ていることから「ウニ」として知られるポロニウム・ベリリウム変調中性子イニシエーターは、まさに適切なタイミングで連鎖反応を開始するために開発されました。

放射性ポロニウムの化学と冶金に関するこの研究は、モンサント社のチャールズ・アレン・トーマスによって指揮され、デイトン・プロジェクトとして知られるようになった。

検査では、モンサントが提供できたポロニウムを 1 か月あたり最大 500 キュリー必要とした。

弾丸と高射砲から保護するために、アセンブリ全体がジュラルミン製の爆弾のケーシングに入れられました。

冶金学者の究極の仕事は、プルトニウムを球形に鑄造する方法を決定することでした。

プルトニウムの密度を測定しようとしたときに一貫性のない結果が得られたときに、困難さが明らかになりました。

最初は汚染が原因と考えられていたが、プルトニウムには複数の同素体があることがすぐに判明した。

室温では脆い $\alpha$ 相が、高温になると塑性 $\beta$ 相に変化します。次に、通常は 300 °C ~ 450 °C の範囲に存在する

、より可鍛性のある $\delta$ 相に注目が移りました。

アルミニウムと合金化した場合、これは室温で安定であることがわかったが、アルミニウムはアルファ粒子と衝突すると中性子を放出し、ブレイグニッションの問題を悪化させるだろう。冶金学者は、プルトニウムガリウム合金を見つけました。

これは $\delta$ 相を安定化させ、希望の球形に熱間プレスすることができました。プルトニウムは腐食しやすいことがわかったため、球体はニッケルでコーティングされた。

その作業は危険であることが判明しました。

戦争が終わるまでに、経験豊富な化学者と冶金学者の半数は、プルトニウムが許容できないほど高いレベルで尿中に現れたため、プルトニウムを扱う仕事から離れなければならなかった。

1945年1月のロスアラモスでの小規模な火災により、プルトニウム研究所での火災が町全体を汚染する可能性があるという懸念が生じ、グローブスはプルトニウム化学および冶金のための新しい施設の建設を承認しました。

最初のプルトニウムピット(コア)の半球は1945年7月2日に生産され、配達されました。

さらに3つの半球が7月23日に続き、3日後に配達されました。

三位一体

主な記事：トリニティ（核実験）

爆縮型兵器は複雑であるため、核分裂性物質の無駄遣いにもかかわらず、初期テストが必要であることが決定されました。

Grovesは、回収される活性物質を条件として、テストを承認しました。

したがって、制御された不完全核爆発が考慮されたが、オープンハイマーは代わりに、「トリニティ」というコードネームのフルスケールの核実験を選択した。

1944年3月、テストの計画は、キスチャコフスキーの下で働いていたハーバード大学の物理学教授ケネス・ベインブリッジに割り当てられました。

ベインブリッジはアラモゴルド陸軍飛行場の近くの爆撃場を実験場所として選んだ。

ベインブリッジはサミュエル・P・ダバロス船長と協力して、兵舎、倉庫、作業場、爆発物誌、商務所を含むトリニティベースキャンプとその施設の建設を行った。

グローブスは、10億ドル相当のプルトニウムが失われたことを上院委員会に説明する見通しを喜んでいませんでした。

そのため、失敗した場合に活物質を回収するために、コードネーム「ジャンボ」と呼ばれる円筒形の格納容器が建設されました。

長さ25フィート(7.6 m)、幅12フィート(3.7 m)で、オハイオ州バーバートのバブコック & ウィルコックス(Babcock & Wilcox)が214米トン(194トン)の鉄と鋼から多額の費用をかけて製造した。

特別な鉄道車両でニューメキシコ州ポープの側線に運ばれ、最後の25マイル(40 km)を2台のトラクターに牽引されたトレーラーで試験場まで輸送され。

しかし、到着するまでに、爆破方法に対する信頼は十分に高く、プルトニウムの入手可能性は十分だったため、オープンハイマーはそれを使用しないことを決定しました。

代わりに、爆発がどれほど強力かの大まかな尺度として、武器から 800 ヤード (730 m) 離れた鉄塔の上に置かれました。

最終的にジャンボは生き残ったが、タワーは生き残らなかったため、ジャンボが爆発をうまく封じ込めたという信念に信憑性を加えた。

1945 年 5 月 7 日に、計器を校正するための予備実験が行われました。

木製のテストプラットフォームがグラウンドゼロから 800 ヤード (730 m) の場所に建てられ、ハンフォードからの照射済みウランスラグの形で核分裂生成物をスパイクした 100 米トン (91 トン) の TNT が積み上げられ、溶解されてチューブに注がれました。

爆薬の中に。

この爆発は、オープンハイマーとグローブスの新しい副司令官であるトーマス・ファレル准将によって観察された。

事前テストでは、トリニティテストに不可欠であることが証明されたデータが生成されました。

実際のテストでは、「ガジェット」と呼ばれるこの武器を 100 フィート (30 m) の鉄塔の頂上に吊り上げました。

爆撃機。空中での爆発により、ターゲットに直接適用されるエネルギーが最大化され、核の放射性降下物が減少しました。

ガジェットはノリス・ブラッドベリの監督の下で 7 月 13 日に近くのマクドナルド・ランチ・ハウスで組み立てられ、翌日には不安定な形でタワーを揺らした。

オブザーバーには、ブッシュ、チャドウィック、コナント、ファレル、フェルミ、グローブス、ローレンス、オープンハイマー、トールマンが含まれた。

1945 年 7 月 16 日 05:30 に、ガジェットは約 20 キロトンの TNT に相当するエネルギーで爆発し、幅 250 フィート (76 m) の砂漠にトリニタイト (放射性ガラス) のクレーターを残しました。

衝撃波は 100 マイル (160 km) 離れた場所で感じられ、きのこ雲の高さは 7.5 マイル (12.1 km) に達しました。

それは遠く離れたテキサス州エルパソでも聞こえたので、グローブスはアラモゴード・フィールドでの弾薬庫の爆発についてカバーストーリーを出した。

オープンハイマーは後に、爆発を目の当たりにして、ヒンドゥー教の聖典『バガヴァッド・ギーター』(XI,12) の一節を思い出した。

कालोस्मिलोकक्षयकृत्स्नवृद्धोलोकाःसमाहर्तुमिहप्रवृत्तः। ऋतेपित्वांभविष्यन्तिसर्वेवस्थिताःप्रत्यनीकेषुयोधाः।।11-32。

千の太陽の輝きが一斉に空に burst burst 裂するならば、それは強大な太陽の輝きのようである。

数年後、彼はその時、別の詩も頭に浮かんだと説明しました。

私たちは世界が同じではないことを知っていました。何人かは笑い、何人かは泣いた。

ほとんどの人は黙っていました。

ヒンドゥー教の経典、バガヴァッド・ギーターの一節を思い出しました。

ヴィシュヌは王子に義務を果たさなければならないと説得しようとしており、彼を感心させるために、彼の複数の腕の形をとり、「今、私は死、世界の破壊者です。」と言います、私たちは皆、何らかの方法でそう思ったと思います。

人事

1944年6月、マンハッタン計画は約129,000人の労働者を雇用し、そのうち84,500人が建設労働者、40,500人がプラントオペレーター、1,800人が軍人でした。

建設活動が落ち込んだため、労働力は1年後に10万人に減少しましたが、軍人の数は5,600人に増加しました。

他の重要な戦時計画と競争して、必要な数の労働者、特に高度に熟練した労働者を調達することは非常に困難であることが判明した。

1943年、グローブスは戦争人材委員会から労働に関する特別な一時的優先権を取得しました。

1944年3月、軍需生産委員会と戦争人員委員会は、このプロジェクトを最優先事項とした。

トールマンとコナントは、プロジェクトの科学顧問として、候補となる科学者のリストを作成し、すでにプロジェクトに取り組んでいる科学者に評価してもらいました。

グローブスはその後、大学または企業のトップに個人的な手紙を送り、重要な戦争活動のために解放されるように求めた。

ウィスコンシン大学マディソン校では、スタニスワフ ウラムが学生の1人であるジョアン ヒントンに早めに試験を受けさせ、彼女が戦争の仕事に行くことができるようにしました。

数週間後、ウラムはハンス・ベエテからプロジェクトへの参加を勧める手紙を受け取った。

コナントは個人的にキスチャコフスキーを説得してプロジェクトに参加させた。

熟練した要員の1つの供給源は、陸軍自体、特に陸軍専門訓練プログラムであった。

1943年、MEDは特別技術者派遣(SED)を創設し、その部隊は675人に承認されました。

陸軍に徴兵された技術者と熟練労働者がSEDに割り当てられました。もう1つの情報源は、女性陸軍部隊(WAC)でした。

当初は機密扱いの資料を扱う事務作業を目的としていたが、WACはすぐに技術的および科学的作業にも利用されるようになった。

1945年2月1日、SEDのすべての分遣隊を含む、MEDに割り当てられたすべての軍人は、第9812技術サービスユニットに配属されました。

ただし、ロスアラモスでは、WACや憲兵など、SED以外の軍人が配属されました。

第4817サービス司令部。

ロチェスター大学医学部の放射線学准教授であるスタッフォード・L・ウォーレンは、米国陸軍衛生隊の大佐に任命され、MEDの医療部門の主任およびグローブスの医療顧問に任命されました。

ウォーレンの最初の仕事は、オークリッジ、リッチランド、ロスアラモスの病院にスタッフを配置することでした。

医療部門は、医学研究だけでなく、MEDの安全衛生プログラムも担当していました。

労働者はさまざまな有毒化学物質を扱い、高圧下で危険な液体やガスを使用し、高電圧で作業し、爆発物を含む実験を行っていたため、放射能や核分裂性物質の取り扱いによって引き起こされるほとんど知られていない危険性は言うまでもありませんでした。

しかし、1945年12月、全米安全評議会は、マンハッタン計画に対し、その安全記録が認められ、安全への功勞に対して名譽賞を授与しました。

1943年1月から1945年6月までの間に、62人の死亡者と3,879人の身体障害者が発生し、これは民間企業の率よりも約62%低い数値でした。

## 秘密

1945年のLifeの記事は、広島と長崎への原爆投下前に、「マンハッタン計画の完全な意味を知っていたのはおそらく全国で数十人に過ぎず、原子に関する研究が関与していることを知っていたのはおそらく1000人だけでした。」同誌は、このプロジェクトで雇用された10万人以上の人々が「暗闇の中でモグラのように働いた」と書いた。

プロジェクトの秘密を開示すると、10年の懲役または10,000ドル(今日では115,000ドル)の罰金が科せられる可能性があるという警告され、彼らは大量の原材料が何も出てこないまま工場に入るのを見て、「厚いコンクリートの壁の後ろでダイヤルとスイッチを監視した」仕事の目的を知らずに場所

1945年12月、米国陸軍は、マンハッタン計画を取り巻くセキュリティ装置を分析および評価する極秘レポートを発表しました。

報告書は、マンハッタン計画は「他のどの高度に秘密の戦争開発よりも徹底的に保護された」と述べています。

マンハッタン計画を取り巻くセキュリティインフラストラクチャは非常に広大で徹底していたため、1943年のプロジェクトの初期に、セキュリティ調査員は、潜在的なセキュリティリスクについて、プロジェクトのあらゆる側面に関与する可能性のある400,000人の潜在的な従業員と600の企業を精査しました。

オークリッジのセキュリティ担当者は、7人以上の私的なパーティーを疑わしいと見なし、米国政府のエージェントが密かに含まれていると信じていた住民は、同じゲストを繰り返し招待することを避けました。

この地域の元々の住人は既存の墓地に埋葬できたが、すべての棺は検査のために開かれたと伝えられている。

プロジェクトの施設に出入りする際には、軍の高官を含む全員と彼らの車が搜索されました。

オークリッジの従業員の一人は、「もしあなたが好奇心旺盛なら、政府の諜報機関によって2時間以内にカーペットに呼び出された、通常説明のために呼び出されたのは、バッグと手荷物をゲートまで護衛し、続行するように命じられた」。

彼らの仕事は戦争とおそらく将来のすべての戦争を終わらせるのに役立つと言われていたにもかかわらず、彼らのしばしば退屈な仕事の結果、または煙突からの煙などの工場作業の典型的な副作用さえ見ず、理解していません。ヨーロッパは彼らの仕事を使わずに終わり、労働者の士気が深刻な問題を引き起こし、多くの噂が広まりました。

ある経営者は戦後、次のように述べています。

まあ、仕事が大変だったわけじゃなくて戸惑いました。

オークリッジで何が行われているのか、私も含め誰も知りませんでした。

多くの人々は、ここで時間を無駄にしていると思っていました。

不満を持っている労働者に、彼らは非常に重要な仕事をしていると説明するのは私に任されていました。

彼らが私に何を尋ねたとき、それは秘密だと言わなければなりませんでした。

しかし、私は何が起きているのかを理解しようとして、自分自身が夢中になりそうになった。

別の従業員は、ランドリーで働いていて、毎日「特別な楽器」を制服に当て、「カチツという音」を聞いていたと語った。

彼女は戦後になってようやく、自分がガイガーカウンターで放射線をチェックするという重要な仕事をしていました。

そのような労働者の士気を向上させるために、オークリッジは10の野球チーム、81のソフトボールチーム、26のサッカーチームを含む、学内スポーツリーグの広範なシステムを作成した。

## 検閲

原子情報の自主的な検閲は、マンハッタン計画の前に始まりました。

1939年にヨーロッパ戦争が始まった後、アメリカの科学者は軍事関連の研究を出版することを避け始め、1940年には科学雑誌が国立科学アカデミーに論文の削除を依頼し始めました。

1940年9月7日のサタデー・イブニング・ポストに原子核分裂に関する記事を書いたニューヨーク・タイムズのウィリアム・L・ローレンスは、後に政府当局が1943年に全国の図書館員にこの問題の撤回を求めたことを知った。

しかし、ソビエトは沈黙に気付いた。

1942年4月、核物理学者のゲオルギー フリオロフは、アメリカの雑誌に核分裂に関する記事がないことについて、ヨシフスターリンに宛てた手紙を書きました。

これにより、ソビエト連邦は独自の原子爆弾プロジェクトを確立しました。

マンハッタン計画は、その発見が枢軸国、特にドイツに、自らの核プロジェクトを加速させたり、プロジェクトに対する秘密作戦を実行させたりしないように、厳重なセキュリティの下で運営された。

対照的に、政府の検閲局は、公表された自発的な行動規範に従うことを報道機関に依存し、プロジェクトは当初、当局に通知することを避けた。

1943年の初めまでに、新聞は公開記録に基づいてテネシー州とワシントン州で大規模な建設が行われたという報告を出し始め、事務所は秘密を守る方法についてプロジェクトと議論し始めました。

6月、検閲局は新聞社と放送局に対し、「原子の粉碎、原子エネルギー、原子核分裂、原子分裂、またはそれらに相当するものについて議論するのを避けるように求めました。

ラジウムまたは放射性物質、重水、

ソビエトのスパイ

主な記事: 原子爆弾のスパイ

サボタージュの可能性は常に存在し、機器の故障が発生したときには疑われることもありました。

不注意または不満を持った従業員の結果であると思われる問題がいくつかあったが、Axisが扇動したサボタージュの事例は確認されなかった。

しかし、1945年3月10日、日本の風船爆弾が送電線に衝突し、その結果生じた電力サージにより、ハンフォードの3基の原子炉が一時的に停止した。

非常に多くの人々が関与しているため、セキュリティは困難な作業でした。

プロジェクトのセキュリティ問題に対処するために、特別な対敵諜報部隊の分遣隊が編成された。

1943年までに、ソビエト連邦がプロジェクトに侵入しようとしていることが明らかでした。

ボリス T. パッシュ中佐、西部防衛軍の防諜部門の責任者は、バークレーの放射線研究所で、疑わしいソビエトのスパ

イ活動を調査しました。

オープンハイマーはパシュに、バークレーの仲間の教授であるホーコン・シュバリエからソビエト連邦に情報を渡すことについて打診されたことを伝えた。

最も成功したソビエトのスパイは、ロスアラモスで重要な役割を果たした英国ミッションのメンバーであるクラウス・フック  
スだった。

1950年の彼のスパイ活動の暴露は、米国の英国およびカナダとの核協力に損害を与えた。

その後、他のスパイ行為が明らかになり、ハリー・ゴールド、デビッド・グリーングラス、ジュリアスとエセル・ローゼン  
バー  
グが逮捕された。

ジョージ・コヴァルやセオドア・ホールのような他のスパイは何十年も知られていない。

ソビエトの原子爆弾プロジェクトの主な制約はウラン鉱石の不足だったため、スパイ活動の価値を定量化することは困難です。

コンセンサスは、スパイ活動がソビエトを1年か2年の努力で救ったということである。

外国の諜報機関

主な記事: アルソス・ミッションとオペレーション・イプシロン

原子爆弾の開発に加えて、マンハッタン計画は、ドイツの核エネルギー計画に関する情報収集を担当していました。

日本はウラン鉱石へのアクセスがほとんどなかったため、日本の核兵器計画はそれほど進んでいないと考えられていましたが、当初はドイツが自国の核兵器開発に非常に近いと懸念されていました。

マンハッタン計画の扇動で、ドイツ占領下のノルウェーの重水プラントに対して爆撃と破壊工作が行われた。

敵の科学的発展を調査するために、海軍情報局、OSRD、マンハッタン計画、陸軍情報局 (G-2) によって共同で小さな  
ミッションが作成されました。

それは核兵器を含むものに限定されませんでした。

陸軍情報局長、ジョージ V. ストロング少将、

1944年6月にローマが占領された後、アルソス・ミッションはローマ大学の物理学研究室のスタッフを尋問した。

その間、パッシュはホレス・K・カルバート大尉の指揮の下、ロンドンでイギリスとアメリカのアルソスミッションを組み合わせ、  
オーバーロード作戦に参加した。

グローブスは、ドイツ軍がノルマンディー上陸作戦を放射性毒物で妨害しようとするリスクは、ドワイト・D・アイゼンハワー  
将軍に警告し、参謀長であるウォルター・ベデル・スミス中将に報告するための士官を送るには十分だと考えた。

コードネーム「ペパーミント作戦」の下で、特別な装備が準備され、化学兵器部隊がその使用法について訓練された。

連合軍の前進に続いて、パシュとカルバートはフレデリック・ジョリオ=キュリーにドイツの科学者たちの活動について  
インタビューした。

彼らはユニオン・ミニエール・デュ・オー・カタンガの職員に、ドイツへのウランの輸送について話しました。



彼らは、ベルギーで 68 トン、フランスで 30 トンの鉱石を突き止めました。

ドイツ人捕虜の尋問により、ウランとトリウムがベルリンから北に 20 マイルのオラニエンブルクで処理されていることがわかり、グローブスは 1945 年 3 月 15 日に爆撃を手配した。

アルソスのチームは、ソビエト占領地域のシュタースフルトに行き、WIFO から 11 トンの鉱石を回収した。

1945 年 4 月、パッシュは T フォースとして知られる複合部隊の指揮をとり、ドイツの核開発の中心であったヘッヒンゲン、ビジンゲン、ハイガーロッホの各都市の敵陣の背後を掃討するハーバーレッジ作戦を実施しました。

T-Force は、重水と 1.5 トンの金属ウランを含む、核実験室、文書、機器、および物資を捕獲した。

また、Kurt Diebner、Otto Hahn、Walther Gerlach、Werner Heisenberg、Carl Friedrich von Weizsäcker を含むドイツの科学者を集めたチームは、イギリスに連れて行かれ、ゴッドマンチェスターの盗まれた家である Farm Hall で抑留されました。

日本で爆弾が爆発した後、ドイツ人は連合国ができないことをしたという事実に直面することを余儀なくされ。

広島・長崎への原爆投下

主な記事: 広島と長崎への原爆投下  
準備

1943 年 11 月から、オハイオ州ライトフィールドの陸軍航空軍資材コマンドは、爆弾を運ぶための B-29 のコードネームの変更であるシルバークラウドを開始しました。

試験投下はカリフォルニア州のムロック陸軍飛行場とカリフォルニア州イニョカーンの海軍兵器試験場で実施された。

グローブスは 1944 年 3 月にアメリカ陸軍航空軍 (USAAF) のヘンリー H. アーノルド将軍と会い、完成した爆弾を目標に届けることについて話し合った。

17 フィート (5.2 m) の長さの Thin Man または 59 インチ (150 cm) 幅の Fat Man を運ぶことができる唯一の連合軍の航空機は、英国のアプロランカスターでしたが、英国の航空機を使用すると、メンテナンスが困難になります。

エンストン飛行場で改造ランカスターを使ってテストが行われました。

しかしグローブスは、アメリカのボーイング B-29 スーパーフォートレスが 2 つの爆弾倉を結合することで Thin Man を運ぶように改造できることを望んでいた。

アーノルドは、B-29 を改造するための努力は惜しみなく行われると約束し、マンハッタン計画の USAAF 連絡係としてオリバー P. エコルズ少将を指名しました。

次に、エコルズはロスコー・C・ウィルソン大佐を補佐官に指名し、ウィルソンはマンハッタン計画の USAAF の主要な連絡先となった。

ルーズベルト大統領はグローブスに、ドイツとの戦争が終わる前に原子爆弾の準備が整っていれば、ドイツに投下する準備ができているはずだと指示した。

1944 年 12 月 17 日、ユタ州ウェンドバー陸軍飛行場で、ポール・W・ティベッツ大佐の指揮の下、第 509 混成部隊が活動を開始しました。

ネバダ州との国境に近いこの基地は、コードネーム「キングマン」または「W-47」でした。

訓練はウェンドバーとキューバのバティスタ陸軍飛行場で行われ、第 393 爆撃戦隊は水上長距離飛行とダミーのパンプ

キン爆弾の投下を練習しました。

マンハッタン計画の一環として、プロジェクト Y のウィリアム S. パーソンズ海軍大佐の下で、プロジェクト アルバータとして知られる特別部隊がロスアラモスで結成され、爆弾の準備と配達を支援した。

アルバータ州のフレデリック L. アシュワース中佐は、1945 年 2 月にグアムで艦隊司令長官チェスター W. ニミッツと会い、プロジェクトについて知らせました。

彼がそこにいる間、アシュワースは太平洋島テニアン島のノース フィールドを第 509 混成グループの基地として選択し、グループとその建物のためのスペースを確保しました。

グループは 1945 年 7 月にそこに配備された。

ファレルは7月30日にマンハッタン計画の代表としてテニアンに到着した。

リトル・ボーイの部品のほとんどは、7月16日に巡洋艦 USS インディアナポリスでサンフランシスコを出発し、7月26日にテニアン島に到着しました。

4日後、船は日本の潜水艦に沈められました。

6つのウラン 235 リングを含む残りのコンポーネントは、第 509 群の第 320 軍空母飛行隊の 3 人の C-54 スカイマスターによって配達されました。

2つのファットマン アセンブリーは、特別に改造された第 509 混成グループ B-29 でテニアン島に移動しました。

最初のプルトニウム コアは特別な C-54 に搭載された。

4月下旬、マンハッタン地区とUSAAFの合同標的委員会が設置され、日本のどの都市を標的にするかを決定し、小倉、広島、新潟、京都を推奨した。

この時点で、陸軍長官のヘンリー・L・スティムソンが介入し、標的決定を行うと発表した。

そして彼は、歴史的および宗教的重要性を理由に、京都への爆撃を許可しないだろう。したがって、グローブスはアーノルドに、核標的のリストからだけでなく、通常の爆撃の標的からも京都を削除するように依頼した。

京都の代用品の 1 つは長崎であった]。

## 爆撃

1945 年 5 月、戦時中および戦後の原子力エネルギーの使用について助言するために暫定委員会が設置されました。

委員会はスティムソンが議長を務め、元米国上院議員でまもなく国務長官となるジェームズ・F・バーンズをハリー・S・トルーマン大統領の個人代表として務めた。

ラルフ・A・バード、海軍次官。ウィリアム・L・クレイトン、国務次官補。ヴァネヴァー・ブッシュ; カール・T・コンプトン、ジェームズ・B・コナント; ジョージ・L・ハリソン、スティムソンのアシスタントでニューヨーク生命保険会社の社長、暫定委員会は、アーサー・コンプトン、フェルミ、ローレンス、オッペンハイマーからなる科学委員会を設置し、科学的問題について助言を行った。

暫定委員会へのプレゼンテーションで、科学委員会は原子爆弾の物理的影響の可能性についてだけでなく

ドイツのポツダム会議で、トルーマンはトリニティ実験が成功したことを知らされました。

彼はソビエト連邦のリーダーであるスターリンに、米国が新しい超兵器を持っていると詳細を明かさずに語った。

これは、爆弾についてのソビエト連邦への最初の公式の通信であったが、スターリンはすでにスパイからそれを知っていた。

日本に対して爆弾を使用する許可がすでに与えられているため、日本がポツダム宣言を拒否した後、代替案は考慮されませんでした。

1945年8月6日、第393爆撃戦隊のボーイング B-29 スーパーフォートレス (エノラ ゲイ) が、ティベッツが操縦し、リトル ボーイを爆弾倉に乗せてノース フィールドから離陸しました。

第2陸軍および第5師団の司令部であり、乗船港である広島が、ミッションの主要な目標であり、代わりに小倉と長崎がありました。ファレルの許可を得て、ミッションを担当する兵器工であるパーソンズは、離陸中の墜落時の核爆発のリスクを最小限に抑えるために、空中で爆弾の組み立てを完了した爆弾は高度 1,750 フィート (530 m) で爆発し、爆発は後に 13 キロトンの TNT に相当すると推定された。

約 4.7 平方マイル (12 km<sup>2</sup>) の領域が破壊されました。

日本の当局は、広島の69%がの建物が破壊され、さらに 6 ~ 7% が損傷しました。

約 70,000 人から 80,000 人、そのうち 20,000 人が日本人の戦闘員で、20,000 人が朝鮮人奴隷労働者で、広島の人口の約 30% がすぐに殺され、さらに 70,000 人が負傷した。

1945年8月9日の朝、第393爆撃戦隊の指揮官であるチャールズ W. スウィーニー少佐が操縦する 2 機目の B-29 (ボックスカー) が、ファットマンを乗せて離陸しました。

今回はアシュワースが兵器使いを務め、小倉が主な標的となった。

スウィーニーは武器をすでに装備した状態で離陸しましたが、電気安全プラグはまだ接続されています。

彼らが小倉に到着したとき、彼らは雲の覆いが街を覆い隠し、命令で要求された視覚的攻撃を禁止していることに気づきました。

燃料が残り少なくなった町の上空を 3 回走った後、彼らは第二の目標である長崎に向かった。

アシュワースは、目標が不明瞭な場合はレーダーアプローチを使用することを決定しましたが、長崎の上空で土壇場で雲が切れたため、命令どおりの視覚的アプローチが可能になりました。

ファットマンは街の上に落とされた。南の三菱製鋼と武工所、北の三菱浦上砲台の中間にある工業地帯。結果として生じた爆発は、トリニティの爆発とほぼ同じ 21 キロトンの TNT に相当する爆発力を持ったが、浦上谷に限定され、都市の大部分は間にある丘によって保護され、その結果、都市の 44%。爆撃はまた、市の工業生産を広範囲にわたって機能不全にし、23,200 ~ 28,200 人の日本の産業労働者と 150 人の日本兵が死亡した。

全体として、推定 35,000 ~ 40,000 人が死亡し、60,000 人が負傷した。

しかし、浦上溪谷に限定され、市の大部分が丘によって保護され、市の約 44% が破壊されました。

爆撃はまた、市の工業生産を広範囲にわたって機能不全にし、23,200 ~ 28,200 人の日本の産業労働者と 150 人の日本兵が死亡した。

全体として、推定 35,000 ~ 40,000 人が死亡し、60,000 人が負傷した。

グローブスは、8月19日にもう1つの原子爆弾を準備する予定であり、9月にはさらに3つ、10月にはさらに3つを準備する予定であった。

さらに2つのファットマンの集会在準備され、8月11日と14日にテニアン島に向けてカートランド・フィールドを出発する

予定だった。

ロスアラモスでは、技術者が24時間連続して、別のプルトニウムコアを鋳造しました。

キャストではあるが、プレスしてコーティングする必要がある、8月16日までかかる。

したがって、それは8月19日に使用できるようになった可能性があります。

8月10日、トルーマンは、彼の明確な権限なしに、追加の原子爆弾を日本に落とさないよう秘密裏に要請した。

グローブスは8月13日に自身の権限で3番目のコアの出荷を停止した]。

8月11日、グローブスはウォーレンに電話して、広島と長崎での被害と放射能について報告する調査チームを編成するよう命令しました。

9月8日、ファレルとウォーレンが率いるポータブルガイガーカウンターを装備した一行が、通訳を務めた日本の都筑正雄少将と共に広島に到着しました。

彼らは9月14日まで広島に留まり、9月19日から10月8日まで長崎を調査した。

日本へのこれと他の科学的使命は、貴重な科学的および歴史的データを提供した。

広島と長崎への原爆投下の必要性は、歴史家の間で論争の的となった。

一部の人は、「原子外交」が同じ目標を達成しなかったかどうか疑問を呈し、爆撃やソビエトの日本に対する宣戦布告が決定的なものであったかどうか異議を唱えた。

フランク・レポートは、デモンストレーションを推進する最も顕著な取り組みであったが、暫定委員会の科学委員会によって却下された。

1945年7月に起草され、マンハッタン計画に取り組んでいる数十人の科学者によって署名されたシラードの請願は、ハリー S. トルーマン大統領にそのような兵器を使用する責任について警告する最後の試みでした。

## 戦争後

ヒロシマとナガサキの原爆が生成された理解できなかった作業を見て、マンハッタン計画の労働者は世界中の他の人々と同じように驚きました。

広島の前爆投下を発表するオクリッジの新聞は、1ドル(今日は11ドル)で売られた。

爆弾の存在は公にされていたが、秘密は続き、多くの労働者は自分の仕事を知らなかった。

ある人は1946年にこう述べた。いう。

多くの住民は、町の存在理由であるにもかかわらず、日常会話の中で「もの」についての議論を避け続けた。

爆弾投下を見越して、グローブスはヘンリー・デウルフ・スミスに一般消費のための歴史を準備させた。

1945年8月12日に、「スミス・レポート」として知られる軍事目的の原子エネルギーが一般に公開された。

Groves と Nichols は、これまで関与が秘密であった主要な請負業者に陸海軍「E」賞を授与しました。

ブッシュとオープンハイマーを含む主要な請負業者や科学者に対して、20を超える大統領勲章が授与されました。

軍人は、女性陸軍部隊分遣隊の司令官であるアーリーン・G・シャイデンヘルム大佐を含む、レジオン・オブ・メリットの勲章を受け取った。

ハンフォードでは、原子炉 B、D、F が消耗し、核分裂生成物とウィグナー効果として知られる黒鉛減速材の膨張によって汚染され、プルトニウムの生産が減少しました。

この膨張により、ウランが照射されてプルトニウムが生成された充電管が損傷し、使用できなくなりました。

ウニの開始剤へのポロニウムの供給を維持するために、生産は削減され、最も古いユニットである B パイルは閉鎖され、将来的には少なくとも 1 つの原子炉が利用できるようになりました。

研究は継続され、デュポンと冶金研究所は、未使用のウランを簡単に回収できない状態にしたリン酸ビスマスプロセスに代わるプルトニウム抽出技術として、レドックス溶媒抽出プロセスを開発しました。

爆弾工学は、その部長であるロスアラモスのジェロルド・R・ザカリアス博士にちなんで名付けられた Z 部門によって行われた。

Z ディビジョンは当初、ウェンドーバー フィールドに置かれていましたが、1945 年 9 月にロスアラモスに近いため、ニューメキシコ州オックスナード フィールドに移動しました。

これがサンディア基地の始まりでした。

近くのカートランド空軍基地は、航空機の互換性と落下試験のための B-29 基地として使用された。

10 月までに、ウェンドーバーのすべてのスタッフと施設はサンディアに移されました。予

備役士官が動員解除されると、彼らは厳選された約 50 人の正規士官に取って代わられた。

ニコルズは、S-50 と Y-12 のアルファトラックを閉鎖することを推奨しました。

これは 9 月に行われた [320]。これまでよりも優れた性能を発揮したが、アルファトラックは K-25 および 1946 年 1 月に運用を開始した新しい K-27 に対抗できませんでした。

給与は 8,600 から 1,500 になり、月に 200 万ドルの節約になります。

人材の流出があったロスアラモスほど、復員が問題となった場所はありませんでした。

やるべきことはまだたくさんありました。

ヒロシマとナガサキで使用された原爆は実験室のようなものでした。

それらをより簡単に、より安全に、より信頼できるものにするためには、作業が必要になります。

ウランの爆縮法は、無駄な銃法に代わって開発する必要があり、原子炉の問題のためにプルトニウムが不足していた現在、ウランとプルトニウムの複合核が必要でした。

しかし、研究所の将来に対する不確実性は、人々を滞在させるのに苦労しました。

オープンハイマーはカリフォルニア大学での仕事に戻り、グローブスはノリス・ブラッドベリーを暫定的な後任に指名した。

ブラッドベリーはその後 25 年間、その職に留まりました。

1946 年 7 月、軍艦に対する核兵器の影響を調査するために、クロスロード作戦の一環としてビキニ環礁で 2 回のファットマン型の爆発が行われた。

エイブルは 1946 年 7 月 1 日に爆発した。

より壮観なベイカーは 1946 年 7 月 25 日に水中で爆発した。

広島と長崎への原爆投下の後、多くのマンハッタン計画の物理学者が原子力科学者会報を設立した。

これは、原子兵器に関する緊急の教育プログラムが緊急に必要であると考えた科学者による緊急行動として始まった。

新しい兵器の破壊力に直面し、核軍拡競争を見越して、ポーア、ブッシュ、コナントを含む数名のプロジェクトメンバーは、核研究と核兵器の国際管理について合意に達する必要があるという見解を表明した。

1946 年 6 月に新設された国連原子力委員会 (UNAEC) での演説で発表されたバルク計画は、国際原子力開発機関の設立を提案したが、採択されなかった。

核計画の恒久的な管理に関する国内の議論の後、マンハッタン計画の機能と資産を引き継ぐために、1946 年の原子力法によって米国原子力委員会 (AEC) が設立されました。

それは、原子開発に対する文民統制を確立し、原子兵器の開発、製造、および制御を軍から分離した。

軍事的側面は、陸軍特殊兵器プロジェクト (AFSWP) に引き継がれた。

マンハッタン計画は 1946 年 12 月 31 日に廃止されたが、マンハッタン地区は 1947 年 8 月 15 日まで廃止されなかった。

## 費用

1945 年 10 月 1 日までのプロジェクトの支出は 18 億 4500 万ドルで、これは戦時支出の 9 日未済に相当し、AEC が 1947 年 1 月 1 日に支配権を握ったときは 21 億 9100 万ドルでした。

コストの 90% 以上は、プラントの建設と核分裂性物質の製造に費やされ、兵器の開発と生産には 10% 未済でした。

合計 4 つの武器 (トリニティ ガジェット、リトルボーイ、ファットマン、未使用のファットマン爆弾) が 1945 年末までに製造され、爆弾 1 つあたりの平均コストは 1945 年のドルで約 5 億ドルになりました。

比較すると、1945 年末までのプロジェクトの総費用は、米国の小型武器 (弾薬を除く) の生産に費やされた総費用の約 90% であり、同時期に米国の戦車に費やされた総費用の 34% でした。

全体として、これは、ボーイング B-29 スーパーフォートレスの設計と製造に次ぐ、第二次世界大戦で米国が着手した 2 番目に高価な兵器プロジェクトでした。