

世代をつなぐ

—いっしょに考えよう 地層処分—



はじめに

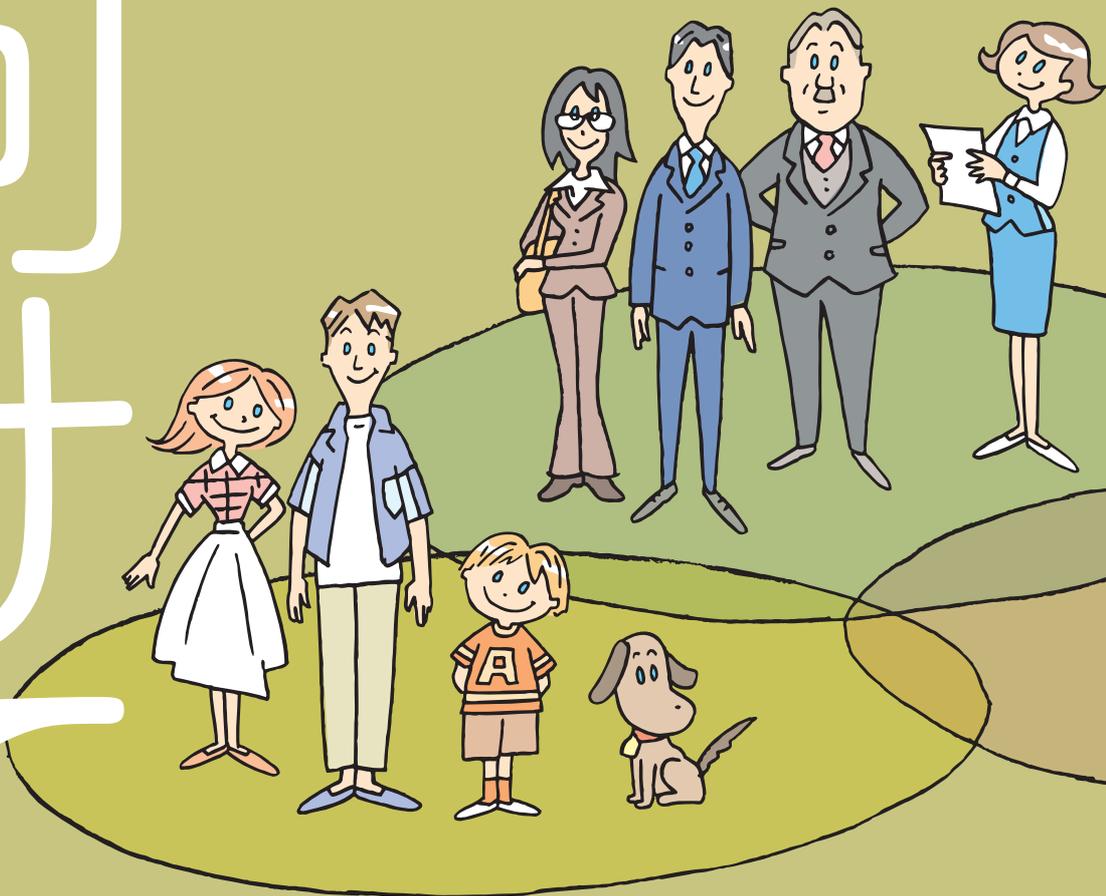
力力力 働働働 に 向 け て

わたしたちはいま、地球上の限りある資源を消費して快適な生活を送る一方、さまざまな廃棄物を発生させながら、豊かさや便利さを享受しています。

わたしたちが毎日の生活で何気なく使っている“電気”も例外ではありません。電気をおこすために、火力発電からは地球温暖化の原因であるCO₂が、原子力発電からは“高レベル放射性廃棄物”という廃棄物が発生しています。

わたしたちが出したCO₂によって、地球温暖化の影響を受けるのは、わたしたちではなく、未来の世代です。

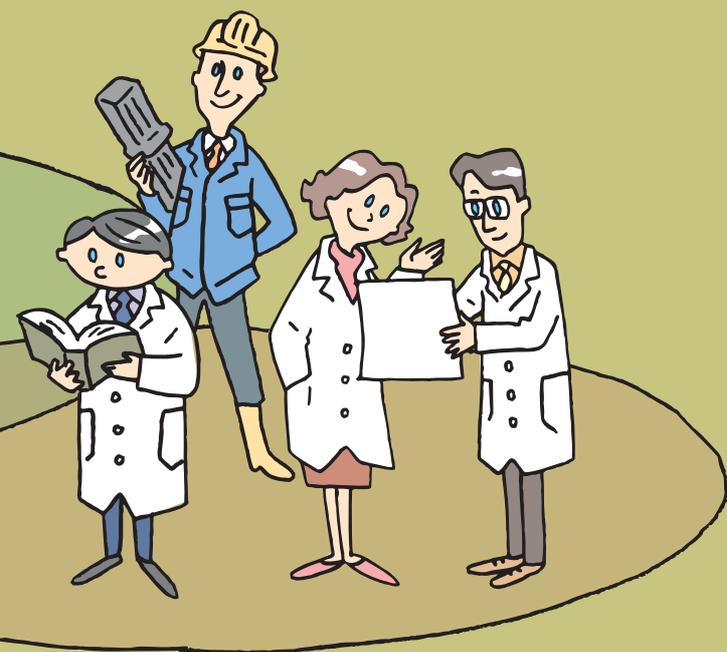
同じように、原子力発電から発生する高レベル放射性廃棄物は、



十分に管理し、安全性を確保しないとわたしたちの未来の世代に大きな影響を及ぼす可能性があります。

わたしたちの世代が出したこの廃棄物をどうするかは、一部の専門家だけにまかせるのではなく、一般の人々も参加して、意見を出し合い、問題解決に向けて“協働”することが必要なのではないか、と原子力産業協会は考えています。このため、この冊子の作成にあたっては、生活者の目線でエネルギー問題に取り組む女性グループのみなさんから頂いたご意見を取り入れながら、この問題を考えるにあたっての基本情報をまとめています。

この冊子をご一読頂き、みなさん一人一人がこの高レベル放射性廃棄物の問題について、考えるきっかけとなれば幸いです。



はじめに一協働に向けて 2

Chapter 1
日本をとりまくエネルギー問題 4

Chapter 2
どんどん暑くなる地球… 6

Chapter 3
ガラス固化体(高レベル放射性廃棄物)は、
どのようにして発生するのですか? 8

Chapter 4
ガラス固化体とは、どんな廃棄物ですか? 10

Chapter 5
なぜ、地層処分なのですか? 12

Chapter 6
地層処分とは、どういうものですか? 14

Chapter 7
ガラス固化体は、
どのような場所に埋められるのですか? 16

Chapter 8
本当に安全性は、大丈夫ですか? 18

おわりに—未来との連帯 20

日本をとりまくエネルギー問題

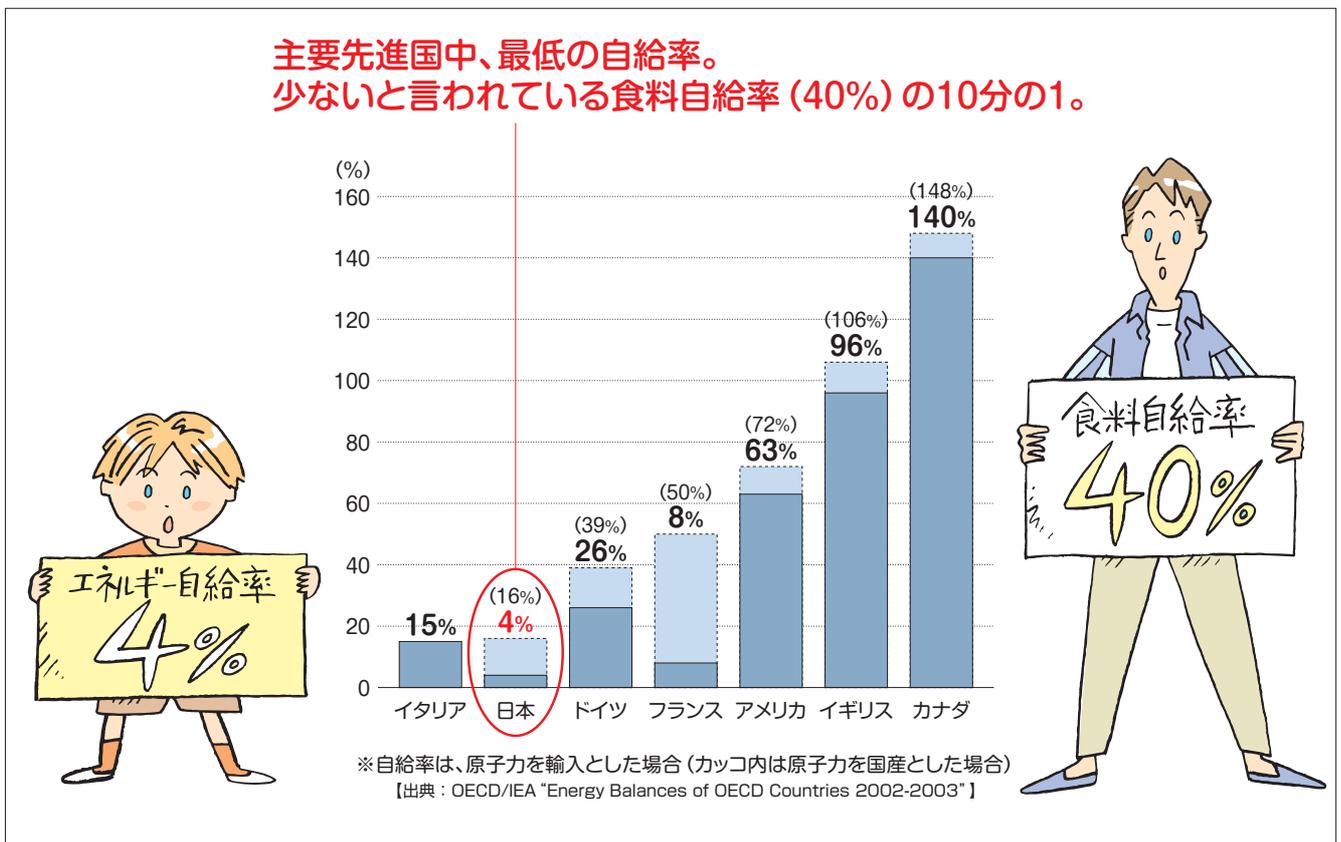
今、世界のエネルギー事情は、中国やインドなどの発展途上国の躍進で緊迫しています。これらの国は、経済発展のために急速にエネルギー消費を拡大し、それに必要なエネルギー資源の確保に向けた活動を活発化しているため、世界的な資源獲得競争が激化しています。

このような状況の中で、日本は自国でわずか4%しかエネルギーをまかなうことができません。日本のようなエネルギー資源を輸入に頼るしかない国にとって、安定してエネルギー資源を確保することは非常に重要になります。

石油は、政治的に不安定な中東に65%も埋蔵されていますので、不安定なエネルギー資源と言えます。一方、ウランは、オーストラリアやカナダなどの政治的に安定した国に広く分布しているため、安定したエネルギー資源です。

原子力発電は、ウランを燃料としていますので、安定したエネルギーです。

■主要国のエネルギー自給率



Q

世界のエネルギー事情は、そんなに緊迫しているのですか？

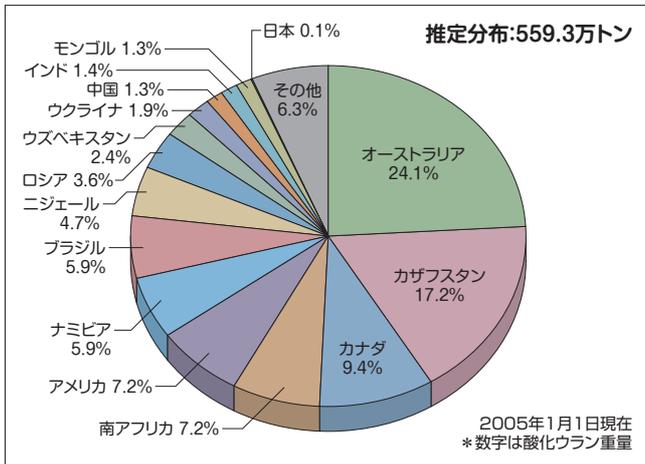
A

みなさんご存知のとおり、中国やインドなどの発展途上国がいま、飛躍的に発展しています。

図1は、2000年から2003年間の中国の総発電電力量の推移を表したものです。2002年から2003年の電力需要の伸びは、メキシコやスペインで年間使っている電力量に匹敵します。また仮に、人口13億人を抱える中国が、1人当たり日本人と同じくらいエネルギーを消費すると仮定した場合、世界の何と2倍ものエネルギーを中国1国で消費することになるのです(図2)。

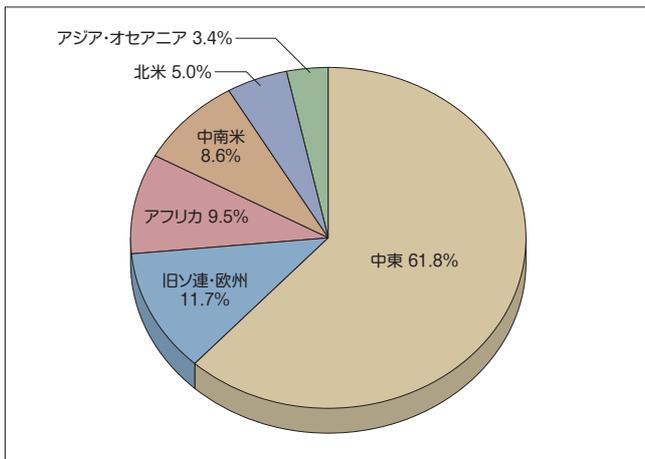
さらに、世界の人口は現在、約65億人ですが、人口の増加だけを考えても2050年には約90億人に増加すると予想されており、将来的に非常に大きなエネルギーが必要になってくることは明らかです。

■世界のウラン資源の分布(埋蔵量)



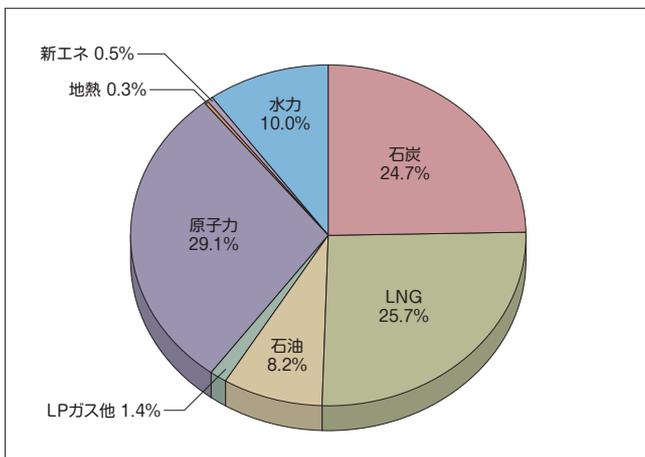
出典：OECD/NEA & IAEA, Uranium 2005

■世界の石油埋蔵量の割合



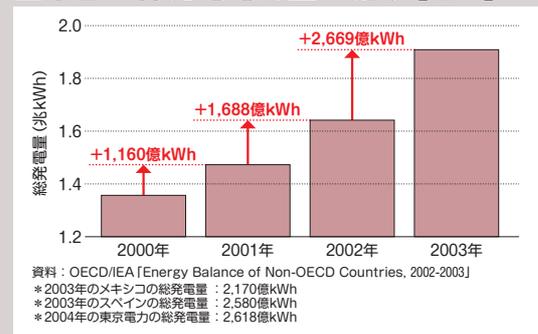
出典：BP, Statistical Review of World Energy (2006)

■日本の発電電力量の構成



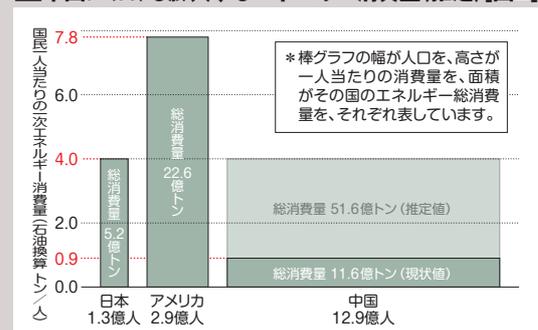
出典：資源エネルギー庁「平成17年度 電源開発の概要」

■中国の総発電電力量の推移 [図1]



出典：資源エネルギー庁「原子力立国計画」

■中国における膨大するエネルギー消費量(推定)[図2]



出典：「アジアとわが国のエネルギー(電気事業連合会)」に一部加筆・修正(2003年データ使用)

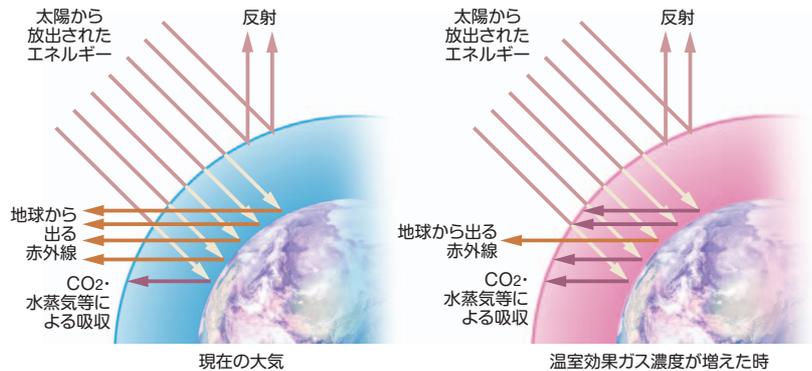
2 どんどん暑くなる地球…

地球は、太陽の光を受けて温められる一方で、温められた熱を宇宙空間に放出し、この両方がバランス良く行われることにより、住みやすい温度を保っています。ところが、CO₂などの温室効果ガスの濃度が上がると、温められた熱は宇宙空間への放出が妨げられ、地表の温度が上がってしまいます。

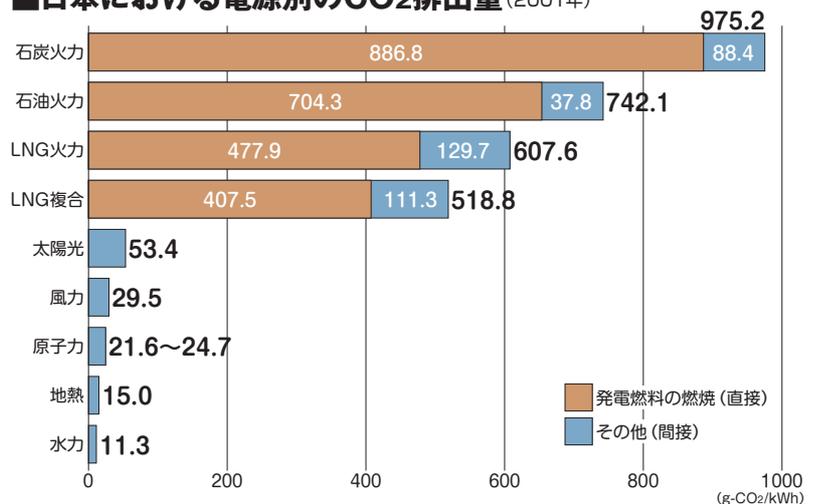
この地球の温暖化が今、世界各地で、さまざまな影響を引き起こしています。

地球の環境を守るためには、CO₂などの温室効果ガスをなるべく出さないようにすることが必要です。太陽光や風力などの自然エネルギー、そして原子力エネルギーは、CO₂を出すことなく、電気を作ります。

■地球温暖化の仕組み



■日本における電源別のCO₂排出量(2001年)



出典：(財)電力中央研究所「ライフサイクルCO₂排出量による原子力発電技術の評価」(平成13年8月)

Q 原子力発電の代わりに、太陽光や風力などの自然エネルギーをもっと増やすことはできないのですか？

A 日本は、太陽光や風力などによる自然エネルギーの積極的な導入をめざしています。これらの自然エネルギーは、エネルギー源が枯渇する心配がなく、CO₂を排出しないクリーンなエネルギーですが、単位面積当たりのエネルギーが低く、火力、原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要となります。また、自然条件に大きく左右されるため、供給安定性等に課題があ

ります。例えば、太陽光発電は、夜間や雨の日には発電しませんし、風力発電は、風向や風速などの気象条件により電気出力に変動があります。

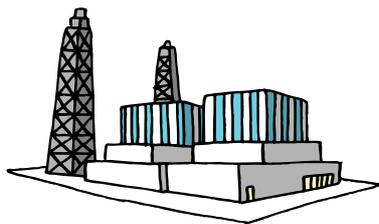
わが国では、原子力発電を基幹電源とし、太陽光発電や風力発電は、当面は、補完的なエネルギーと位置づけ、2010年に3%の供給割合とすることを目標に、課題克服のための技術開発や導入・普及のための取組が進められています。



ヒマラヤ(東ネパール)AXO10氷河は温暖化の影響を受け、氷河が後退し湖ができています。
(写真提供：名古屋大学雪氷圏変動研究室)

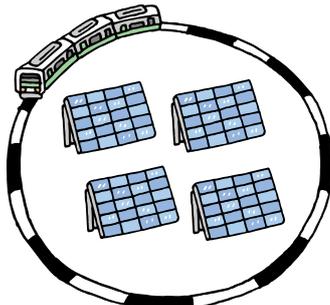
■各種発電の比較(100万kW級あたりで比較すると)

出典：資源エネルギー庁「原子力立国計画」より編集。



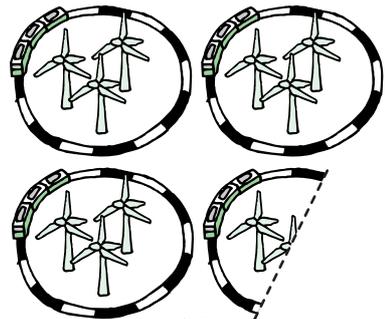
原子力発電所
1基※(約0.3km²)
建設費3,000億円

※浜岡原子力発電所5基(約500万kW)の敷地面積は、約1.6km²です。100万kWにすると、約0.3km²の敷地面積になります。



太陽光発電

山手線いっばいの面積(約67km²)
建設費6~7億円



風力発電

山手線の3.5倍の面積(約246km²)
建設費1億円

ガラス固化体は、どのようにして発生 (高レベル放射性廃棄物)

原子力発電では、燃料としてウランを使用し、核分裂で発生した熱で蒸気を作り、その蒸気でタービンを回して電気を作ります。その使い終わった燃料(これを「使用済燃料」と言います)には、まだまだ資源として使えるウランやプルトニウムという物質が含まれています。この使用済燃料を廃棄物として、そのまま処分する国もあります。しかし、エネルギーの自給率が4%しかない日本は、まだ資源として使える使用済燃料を廃棄物とみなさず、再び燃料としてよみがえらせ、有効に利用しようとしています。このため、使用済燃料を再処理工場とよばれる工場で化学処理し、再び燃料として使えるウランやプルトニウムを回収します。その過程で放射能レベルの高い廃液が発生します。

この廃液をガラス原料とともに、溶融炉の中で高温で溶かしたものをステンレス製の容器に入れて、冷やして固めたものが「ガラス固化体」です。日本では、このガラス固化体のことを一般的に、「高レベル放射性廃棄物」とよんでいます。

Q どうしてガラスで固めるのですか？

A

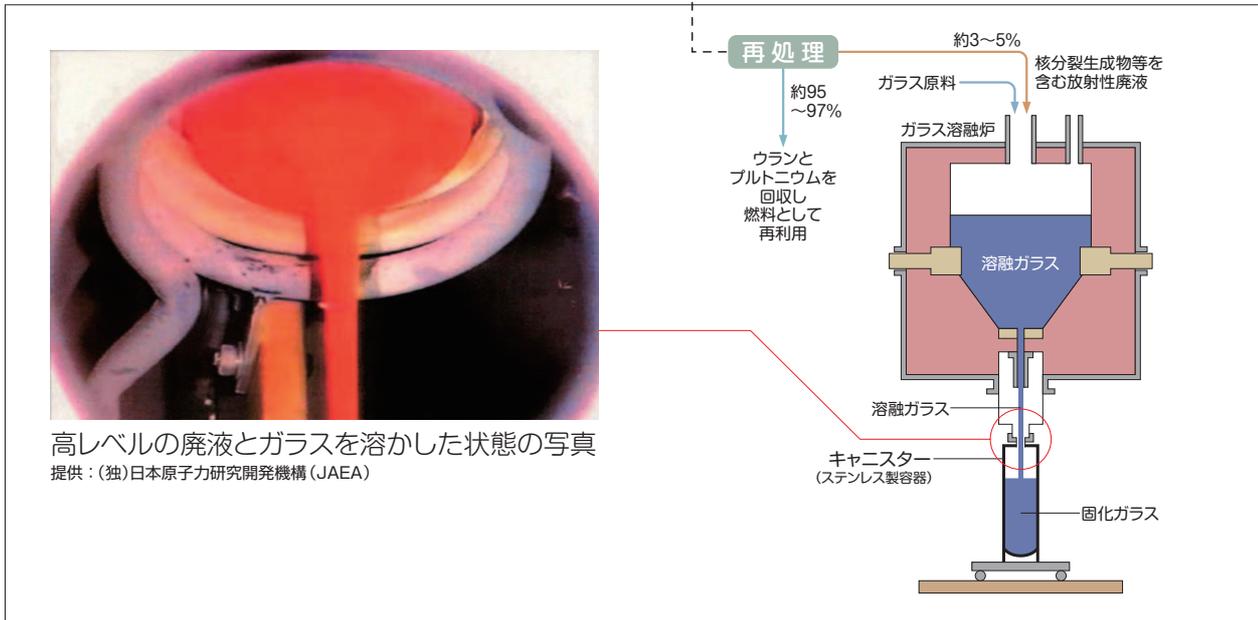
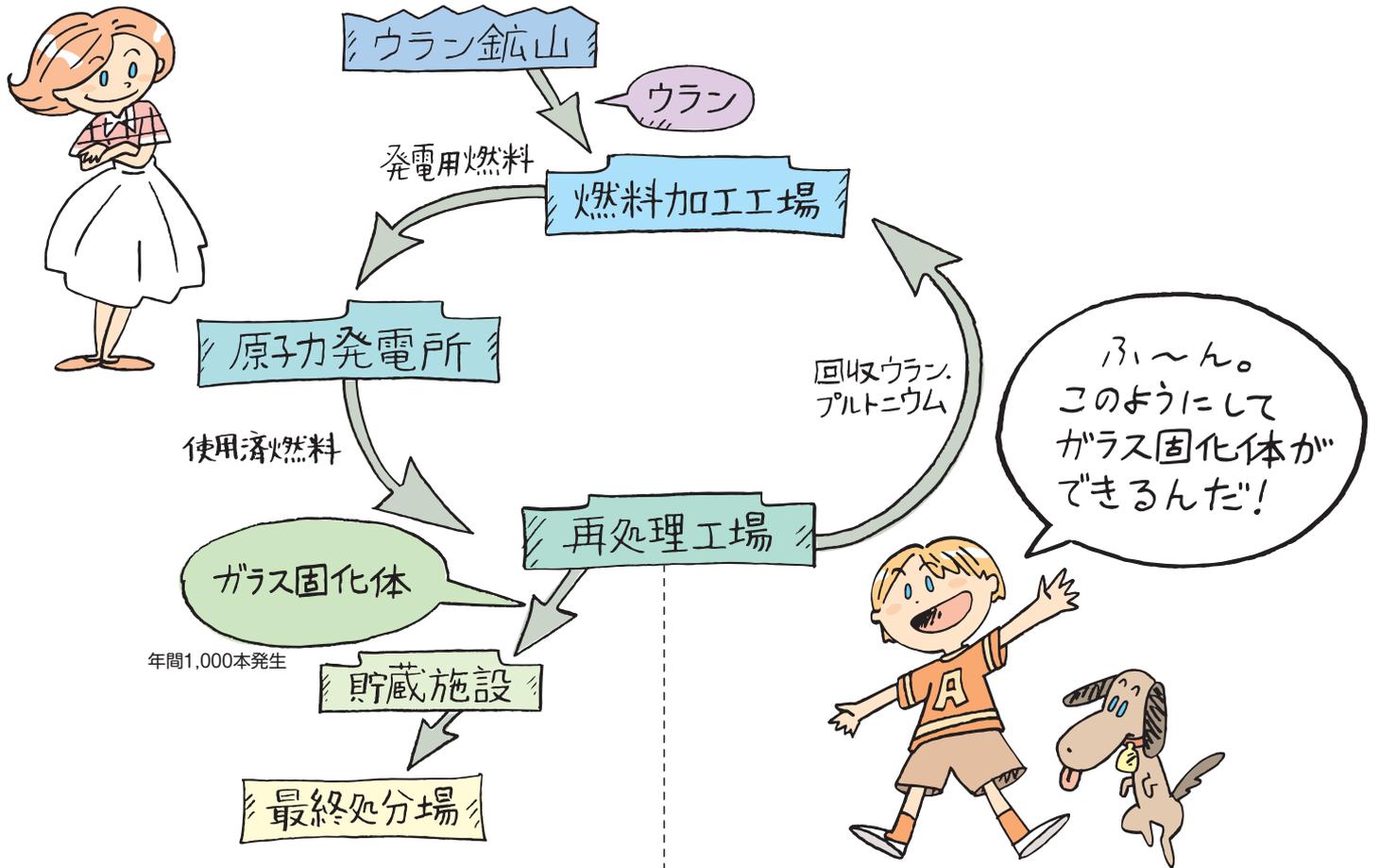
放射性物質を閉じ込める固化体に求められる要件は、

- 安定した品質を確保できる方法で、製造できること
- 廃棄物の発生量を少なくするため、なるべく多くの廃棄物を固化体中に取り込めること
- 物質が化学的に安定していること
- 放射線に強いこと

が挙げられ、ガラスはこれらの要件をすべて満たしています。また、ガラスは割れ易いですが、放射性物質をガラス構造の中に閉じ込めてしまいますので、ガラスが壊れても放射性物質が外に出ることはありません。

するのですか？

■核燃料サイクルの流れ



高レベルの廃液とガラスを溶かした状態の写真
提供：(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA)

ガラス固化体とは、どんな廃棄物です

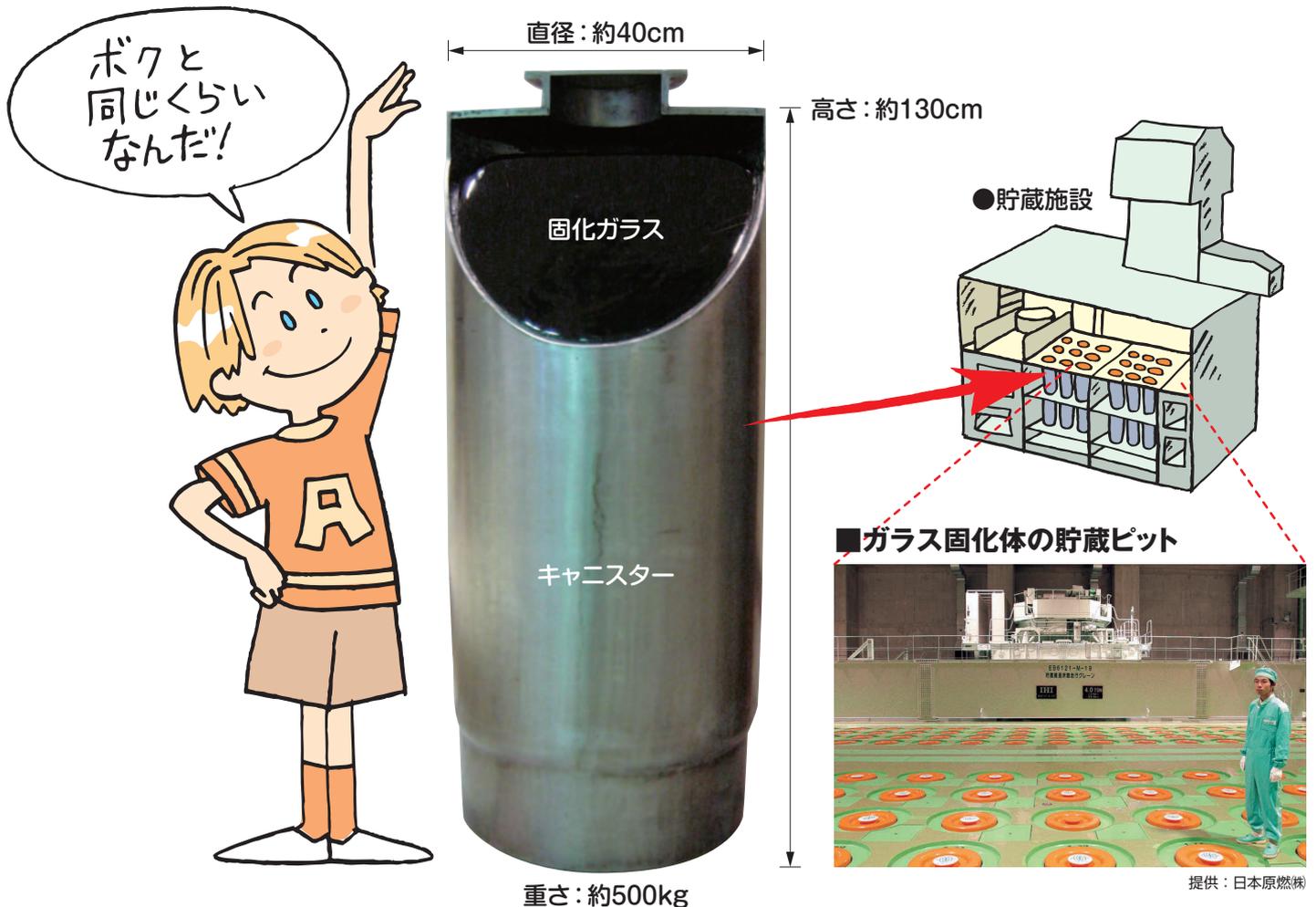
ガラス固化体の大きさは、高さ約130cm、直径約40cm、重量約500kgです。

このガラス固化体には、①発熱する、②製造直後は強い放射線を出す、③長期にわたって放射線を出す、という特徴があります。「発熱」と「強い放射線」は、ガラス固化体に含まれる比較的寿命の短い放射性物質によるもので、寿命の長い放射性物質に比べて、早く減っていきます。

一方、ガラス固化体には、微量ではあるものの、非常に寿命の長い放射性物質も含まれていますので、長期にわたって放射線を出し続けます。このため、ガラス固化体は、長期にわたって周囲に危険が及ばないよう、安全が確保されるように取り扱われる必要があります。

今、ガラス固化体は冷却のため一時的に、青森県の六ヶ所村と茨城県の東海村で安全に貯蔵・管理されています。

●ガラス固化体の模型 提供：(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)



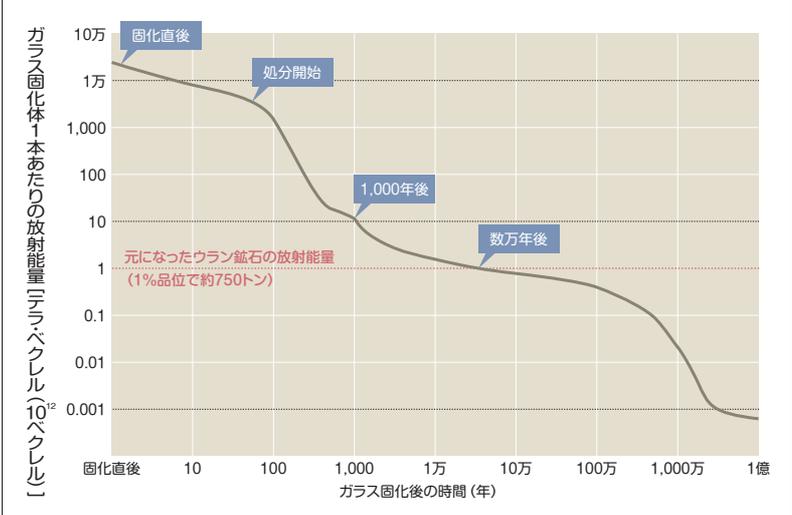
か？

長い間、安全性が確保されなきゃならないのね。

下を見てね。ワン！



■ガラス固化体の放射量の経時変化



出典：資源エネルギー庁作成の資料「高レベル放射性廃棄物の処分について考えてみませんか（試行版）」ガラス固化体の放射量の経時変化（核燃料サイクル開発機構、1999aをもとに作成）

Q

寿命の短い放射性物質、寿命の長い放射性物質とは何ですか？

A

放射性物質は、放射線を出しながら、放射線を出さない物質にだんだんと変わっていき... 寿命の短い放射性物質が占めているため、数百年で急激に減少し、1000年後には製造直後の放射量の三千分の一程度になります。

また、数万年後には、その元となった燃料（ガラス固化体を作った燃料）を作るのに必要なウラン鉱石と同程度の放射線まで減衰します。

*半減期：放射線の強さが元の半分になるまでにかかる時間。

■ガラス固化体中の放射性物質例

Table with 3 columns: Half-life, Isotope, and Duration. Rows include Strontium-90, Cesium-137, Plutonium-239, and Neptunium-237.

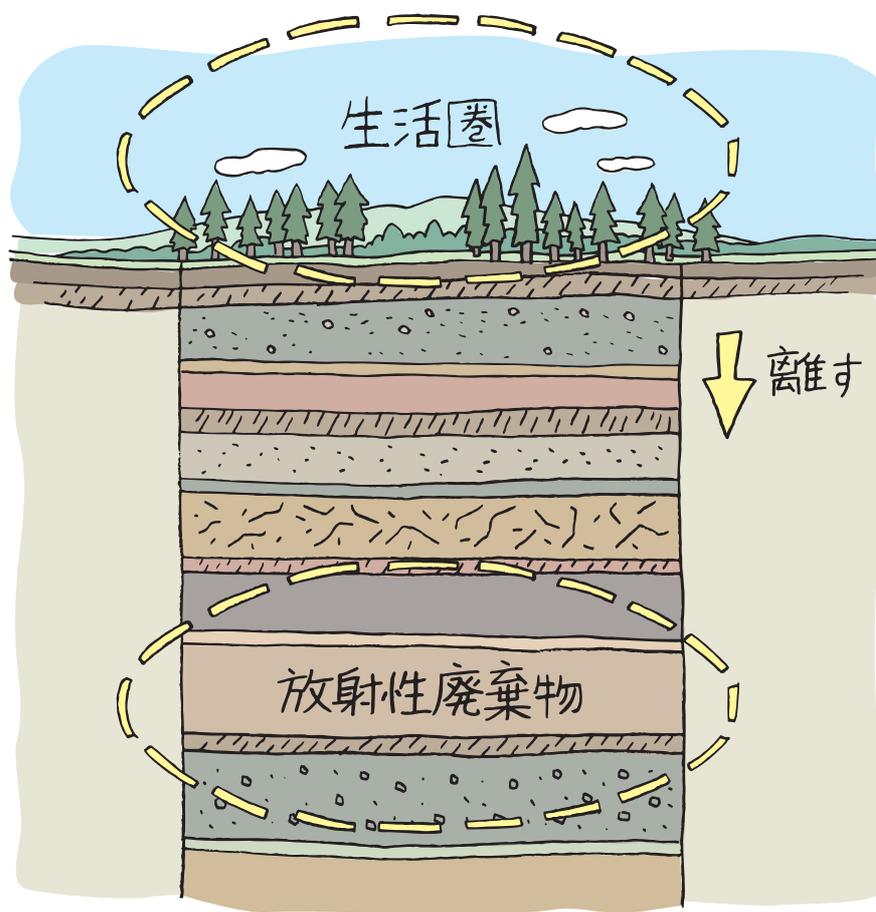
なぜ、地層処分なのですか？

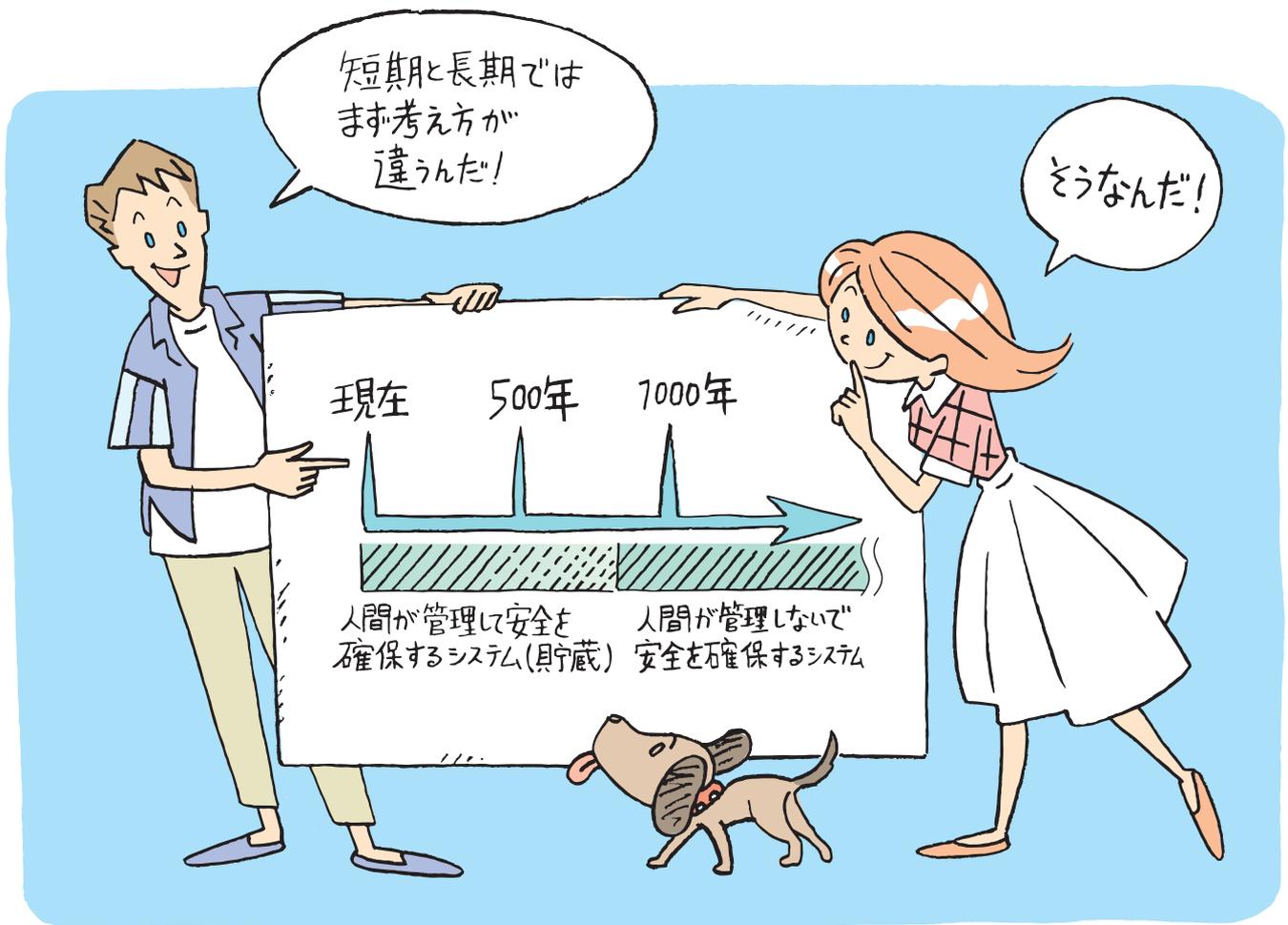
ガラス固化体は、非常に寿命の長い放射性物質が含まれているために、非常な長期間、例えば1万年以上にわたって安全を確保することが必要です。

貯蔵は完成された技術ですが、人間が管理することによって、安全が確保されます。そして人間の管理が期待できる期間は、せいぜい数百年程度であると考えられています。このため、ガラス固化体には、人間の管理に依存せず、安全が確保される他のシステムが必要になります。

地下には、石油や石炭、鉱石などが1億年以上にもわたり、閉じ込められています。その地下の閉じ込め能力を利用し、ガラス固化体を数万年以上にもわたって、人間の生活環境から隔離しようとするのが「地層処分」です。

地層処分は、人間の管理が及ばなくなったり、忘れ去られたとしても、安全性が確保される最も実現性が高いシステムとして、国際的に選定されたものです。





Q 海外の状況は、どのようになっているのですか？

A 海外の国々も日本と同じように、放射能の高い廃棄物を地下深くの安定した地層中に閉じ込めることが最も適した処分方法であるとして、地層処分を実施する方針です。実際に処分を開始した国はまだありませんが、フィンランドやアメリカでは、場所が決まり、スウェーデンでは2つの候補地で調査が行われています。また、日本では放射能の高い廃棄物をガラス固化体にして処分することになっていますが、フィンランドやスウェーデンでは、使用済燃料をそのまま処分する方針です。

■諸外国の高レベル放射性廃棄物処理の状況

国	廃棄物の形態	処分場候補地	操業開始予定(年)	実施主体
 フィンランド	使用済燃料	オルキオト	2020年ごろ	ポシヴァ社 (POSIVA)
 スウェーデン	使用済燃料	オスカーシャム エストハンマル 上記のいずれか	2018年ごろ	スウェーデン核燃料・ 廃棄物管理会社 (SKB)
 アメリカ	使用済燃料 ガラス固化体	ユッカマウンテン	2017年ごろ	米国エネルギー省 (DOE)
 フランス	ガラス固化体	未定	2025年ごろ	放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)
 ドイツ	使用済燃料 ガラス固化体	未定	2030年ごろ	連邦放射線防衛庁 (BfS)
 カナダ	使用済燃料	未定	未定	核燃料廃棄物管理機関 (NWMO)
 スイス	使用済燃料 ガラス固化体	未定	2040年ごろ	放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA)

出典：資源エネルギー庁「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について」

6 地層処分とは、どういうものですか？

地層処分とは、地下の閉じ込め能力（天然バリア）に、この能力をより確かなものにする人間の英知（人工バリア）を加え、ガラス固化体を人間の生活環境から隔離するものです。浅いところに処分してしまうと、人間が容易にガラス固化体に接近する可能性もあるので、300mより深いところに処分するように法律で決めました。地下300mと言え、東京タワーが地下に埋まるくらいの深さです。

では、一体どのようにしてガラス固化体を埋めるのかというと、トンネル（坑道）を掘って、そのトンネルの中にガラス固化体を1本1本埋めていくのです。

そしてガラス固化体をすべて埋め終えたら、トンネルを元のように埋め戻し、処分場を閉鎖する計画です。最終的に、調査開始から処分場を閉鎖するまでにだいたい100年くらいかかります。

日本では、原子力発電環境整備機構（NUMO）が地層処分を実施する機関ですが、NUMOは規模のスケールメリットを考えて、40,000本のガラス固化体を埋設する施設を考えています。トンネルの総延長は、東京から静岡ぐらいの長さ（約200km）にもなります。処分場の大きさとしては、数km×数km（東京ドーム約100～200個分の面積）程度の広さになります。

Q A

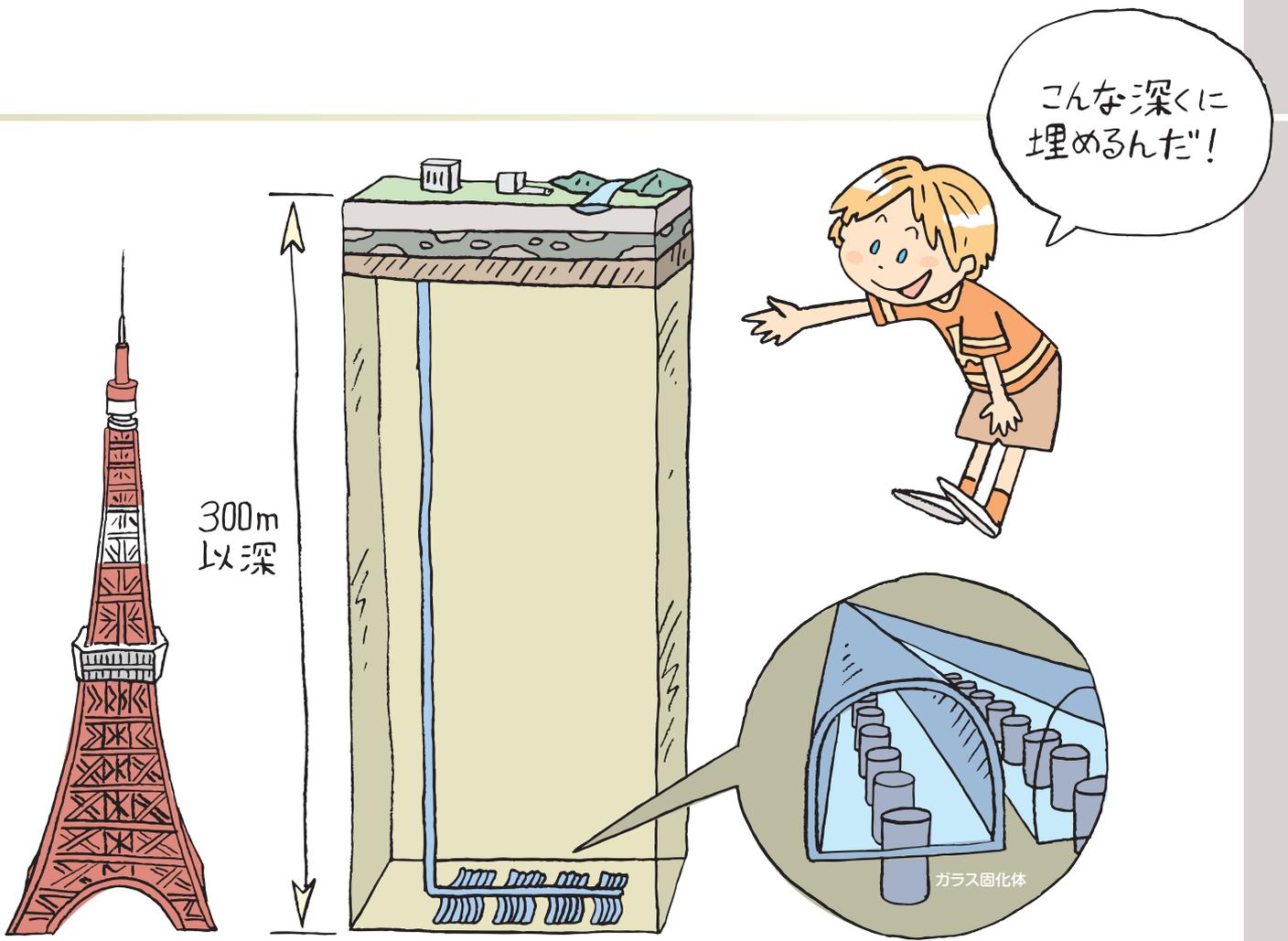
今の技術で処分場を作ることはできるのですか？

処分場を作る技術は大きく分けると、「処分場を建設する技術」、「処分場を操業する技術」、「処分場を閉鎖する技術」の3つです。

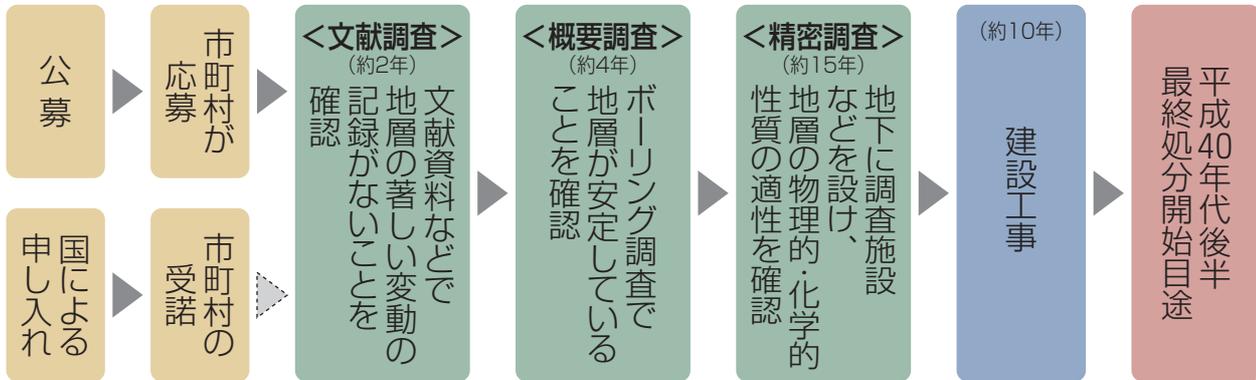
●処分場を建設する技術は、地下深くにトンネルを掘る技術です。日本は山国ですのでトンネルを掘ることに関しては、高い技術があります。

●処分場を操業する技術は、ガラス固化体をトンネルの中で安全に取り扱う技術です。青森県の六ヶ所村や茨城県の東海村にある貯蔵庫では、ガラス固化体を安全に取り扱っていますので、基盤技術はすでにあります。

●処分場を閉鎖する技術は、トンネルを元のように埋め戻す技術です。（独）日本原子力研究開発機構が、海外と協力して研究開発を行い、どのような材料で、どの程度の圧力で埋め戻したら良いかなど、基盤技術はすでに開発されています。



■最終処分地の立地選定の流れ



■トンネルを掘る技術



東京電力㈱ 神流川発電所地下発電所掘削状況
提供：東京電力㈱

■ガラス固化体を取り扱う技術



遠隔操作によるガラス固化体検査
提供：日本原燃㈱

■トンネルを埋め戻す技術



トンネルシーリング性能試験(トンネル密封性能試験)
提供：(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA)

ガラス固化体は、どのような場所に埋

みなさんご存知のとおり、日本は、世界有数の「火山国」、「地震国」です。このような日本列島で、地層処分に適した場所が本当にあるのでしょうか。

「(独)日本原子力研究開発機構」という研究機関が、これまでにさまざまな調査研究を行い、日本においても処分に適したところが広く存在することが分かっています。

処分場は、現在安定していて、かつ将来地下の環境を大きく変えないような場所かどうかを調査して、選定します。具体的には、火山の影響を受けないところ、断層活動がないところ、著しい隆起がないところなどを調査し、選定します。

調査は、段階的に進められ、まず文献で調査します。次に、地表から調査し、さらに地下からも調査し、最終的に処分場を建設するところが選定されます。

平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の体験から、地震を心配される方は多いと思いますが、地震の揺れの程度は、地下の方が地表に比べて、小さいことが分かっています。

また、処分場は最終的には、トンネルをすべて埋めてしまいますので、地震で揺れても、ガラス固化体は周りの岩盤と一緒に動きます。

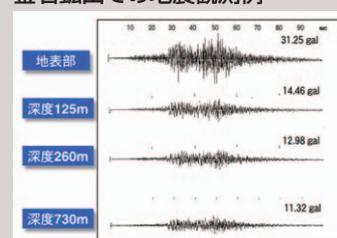
このため、ガラス固化体が地震の揺れによって破損するなどの問題は起こらないと考えられています。

Q 本当に、今の技術で断層活動がないところを調査し、選定できるのですか？

A まだ、存在位置が知られていない活断層があることは否定できませんが、最新の調査手法によって、その場所を見出すことは可能です。小さな断層を見落とす可能性を全く否定することはできませんが、仮にそのような見落としがあったとしても、断層は数十万年かけて徐々に成長するので、突然断層が処分場を横切るようなことはないと考えられています。

■地下は、地上に比べて揺れが小さいです

地質環境の長期安定性
釜石鉱山での地震観測例



提供：(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA)



三陸はるか沖地震
1994年12月28日21時
マグニチュード7.5
震央距離 212.6km

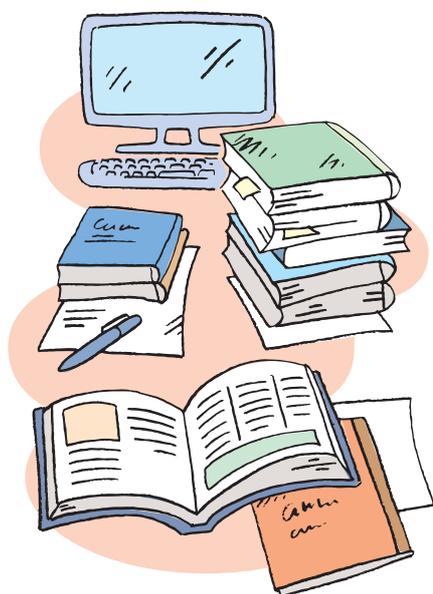
められるのですか？

■立地選定のプロセス

Step1

概要調査地区の選定

過去の記録、文献、
その他の資料で、
地下を調べます。



Step2

精密調査地区の選定

地表から地下を調べます。



Step3

最終処分施設建設の選定

地下に施設を設置し、
直接地下を調べます。



段階的にしっかり
調べるんだ！



本当に安全性は、大丈夫ですか？

安全に地層処分を行うために、 いろいろな対策が考えられています

■閉じ込め能力のある場所をしっかりと探します

地下はもともと、物質を閉じ込めておく能力があります。

この写真は、三葉虫の化石です。この三葉虫は、地質時代で言うとカンブリア紀前期(約5億7,500万年前)からベルム紀後期(約2億4,500万年前)まで生息していた節足動物です。大昔の生き物の殻や骨が、長い期間、地下水などに溶けることなく、そのままの形で保存され続けたということは、地下水の流れや水質など一定の条件がそろえば、地層はモノを安定して保存する力があることを示しています。

●三葉虫の化石



このような閉じ込め能力のある場所をしっかりと探します。



ボーリング調査の様子(地盤に実際に孔を掘り、地下環境を調べます)

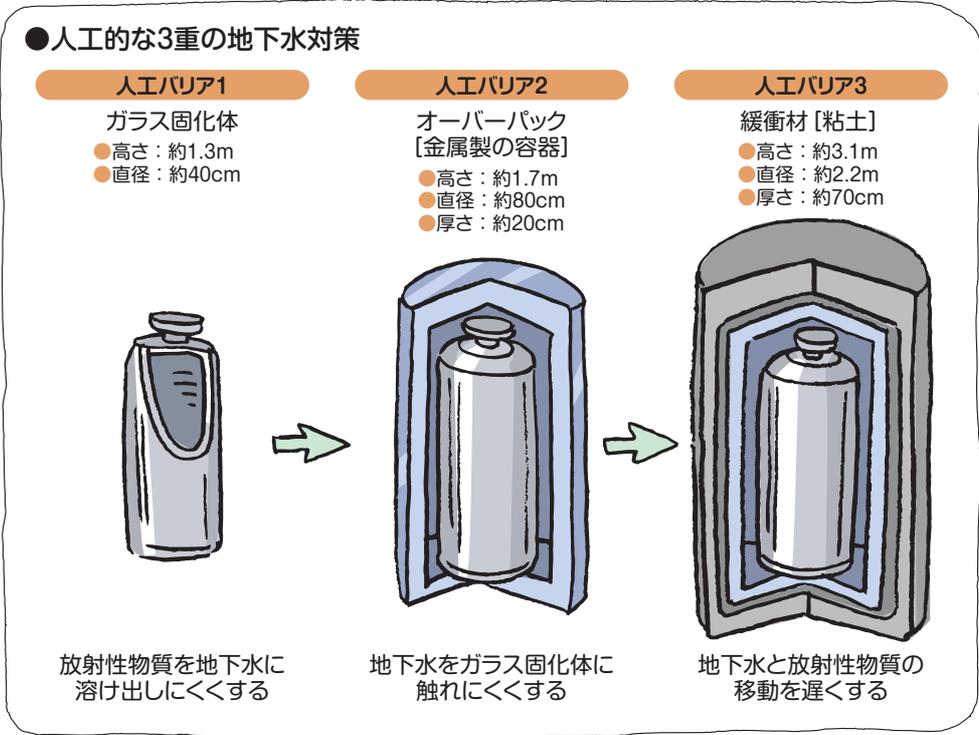
出典：(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)
パンフレット「地層を科学する」

■地下の閉じ込め能力をより確実にし、さらに安全性を高めるために、人工的な3重の地下水対策を施します

なるほど!
3重もの地下水対策を
しているのね!



この図は、人工バリアの構成図を示したものです。放射性物質をガラスに閉じ込め(①ガラス固化体)、金属製の容器(②オーバーパック)に封入し、オーバーパックの周りをさらに水を通しにくい粘土で締め固めます(③緩衝材)。



**さまざまな研究成果を
取り込み、安全性を確認します**

国内外のさまざまな研究成果を取り込み、地下に埋設した廃棄物が地表に及ぼす影響について評価します。評価にあたっては、地層処分の安全性に影響を与えるかもしれない心配事をリストアップし、それらについて起こる可能性、あるいは起こった場合の影響を評価します。

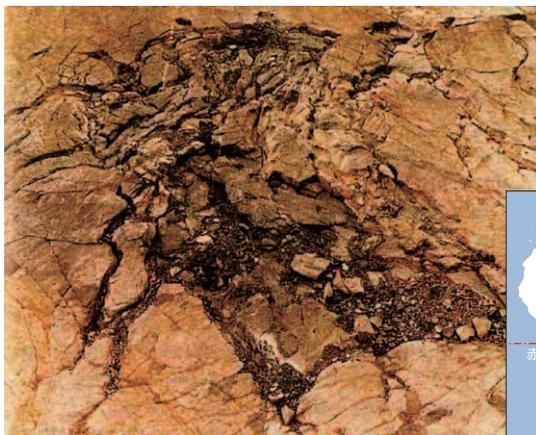


提供：(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)

地層処分の閉じ込め能力を示した 実例があります

■地層の閉じ込め能力

アフリカ・ガボン共和国のオクロという場所に、ウラン鉱床があります。ウラン鉱床の中から見つかった放射性物質から、そこに約20億年前に天然の原子炉があったことが、1972年に発見されました。



つまり、ここで核分裂が起き、その時発生した放射性物質が20億年もの長い間、その地層の中に閉じ込められていたのです。



出典：(独)産業技術総合研究所(AIST)
「地質ニュース」1991年3月号

■ガラスの安定性

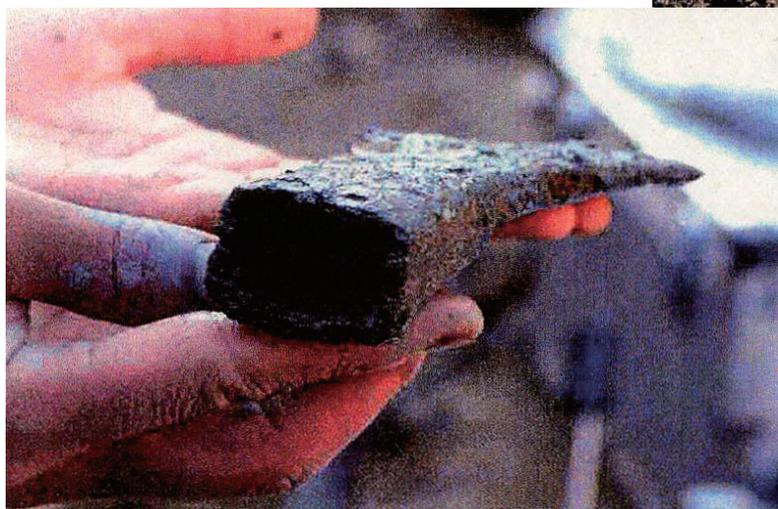
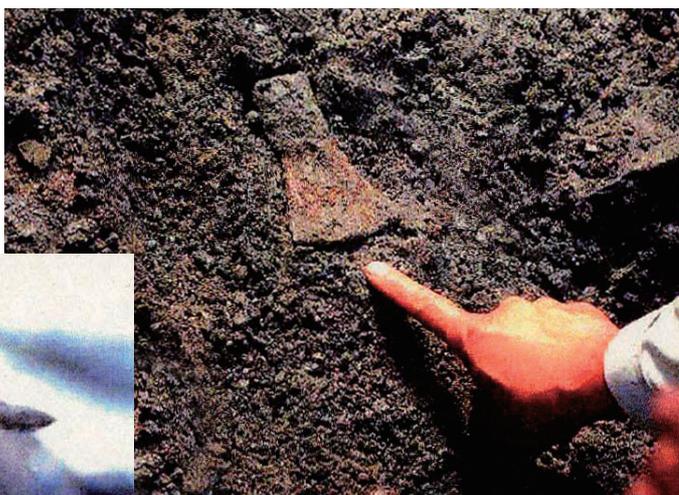
佐賀県の吉野ヶ里遺跡で出土したガラス製管玉は、約2,400年前のものですが、色鮮やかな形で出土しました。



有柄(ゆうへい)細形銅剣とガラス製管玉
提供：佐賀県教育委員会

■オーバーパック（金属製の容器）の閉じ込め能力

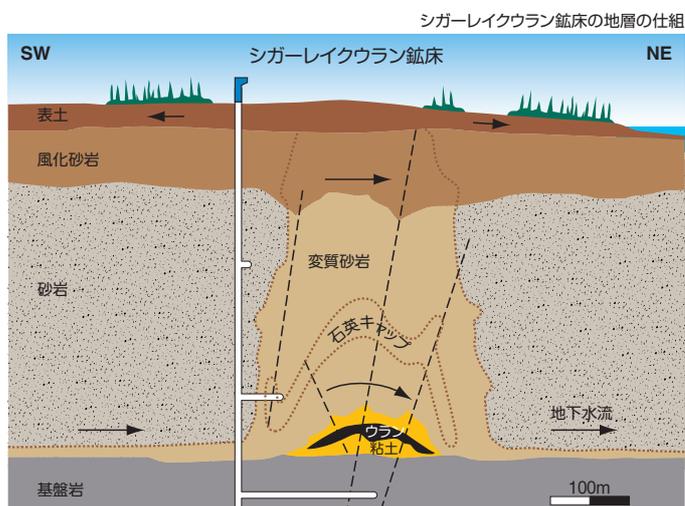
オーバーパックは、1,000年間の閉じ込めができるよう、実験室のデータから腐食量が算定されています。2000年に出雲大社境内から約750年前の鉄帯や鉄斧が出土しました。出土した鉄帯や鉄斧の腐食量から評価すると、現在1,000年間閉じ込めるよう設計されたオーバーパックは、数万年間閉じ込める実力があると考えられます。



出雲大社境内出土品（写真提供：出雲大社社務所）

■緩衝材（粘土）の閉じ込め能力

カナダのシガーレイクにあるウラン鉱床は、まわりを粘土に囲まれており、この粘土があったことで、ウラン鉱床中のウランは13億年、中に閉じ込められていたことが、調査の結果、分かりました。



出典：原子力発電環境整備機構（NUMO）「地層処分とその安全性」2003年4月

おわりに

未来と

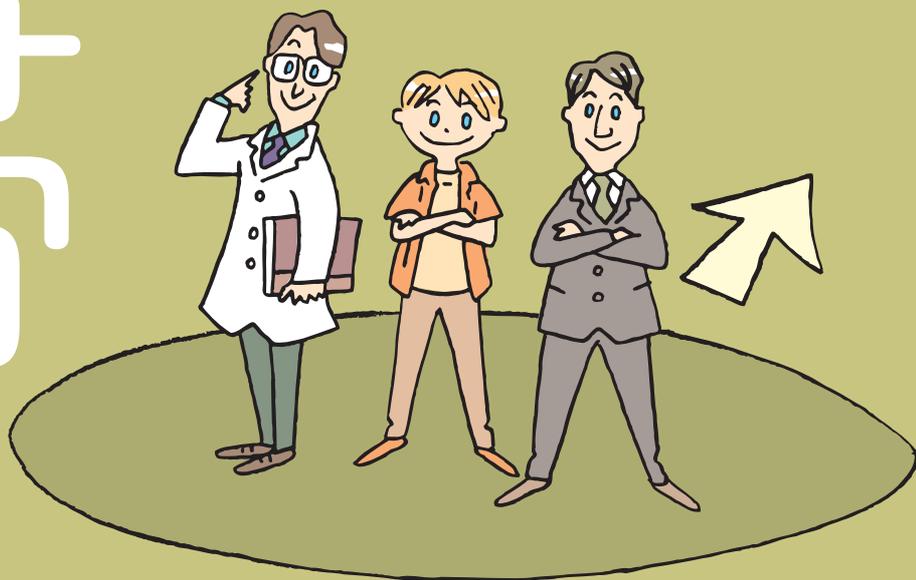
高レベル放射性廃棄物処分の問題は、原子力発電の恩恵を受けた現世代が将来の世代に負担を残さないよう知恵を出し合い、問題解決に向けて最大の努力を払うことが基本ですが、将来世代の選択の余地についても考えておく必要があります。

原子力産業協会は、この問題は、遠い未来の人々も関係してくるものであることから、“現在と将来の連帯”という新しい概念が要求される問題であると考えています。つまり、現世代が最大の努力を払いつつも、現世代がすべてを決めるのではなく、経験をつなぎながら、幾世代にもわたって段階的に解決していくことが求められる問題、まさに「世代をつなぐ問題」なのです。



2030年

連続

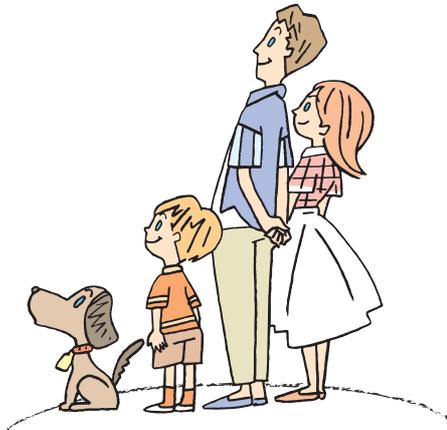


2100年



2060年

このパンフレットの作成にあたっては、生活者の目線でエネルギー問題に取り組む新潟県柏崎市の「暮らしをみつめる…柏桃の輪」のみなさまにご協力頂きました。



社団法人 日本原子力産業協会
JAPAN ATOMIC INDUSTRIAL FORUM, INC.

〒105-8605 東京都港区新橋2-1-3 新橋富士ビル5階
TEL.03-6812-7100 <http://www.jaif.or.jp/>



古紙配合率100%再生紙を使用しています



大豆油インクを使用しています