

地下空間を創造する

東京工業大学理工学研究科土木工学専攻
竹村 次朗

Web: <http://www.geotech.cv.titech.ac.jp/~jtakemur/>
class => special lecture (Hitotsubashi)

専門: 地盤工学 (Geotechnics)

A science of making the earth more habitable: Webster
地盤材料、地盤中の構造物、地盤自体の挙動

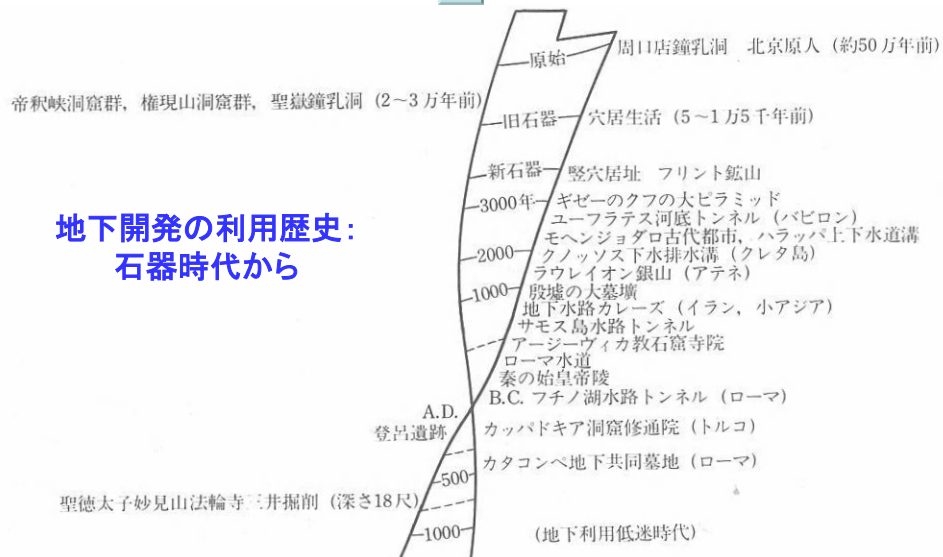
1週. 地下の利用:

地下空間の特性(長所、短所)、目的ごとの利用例

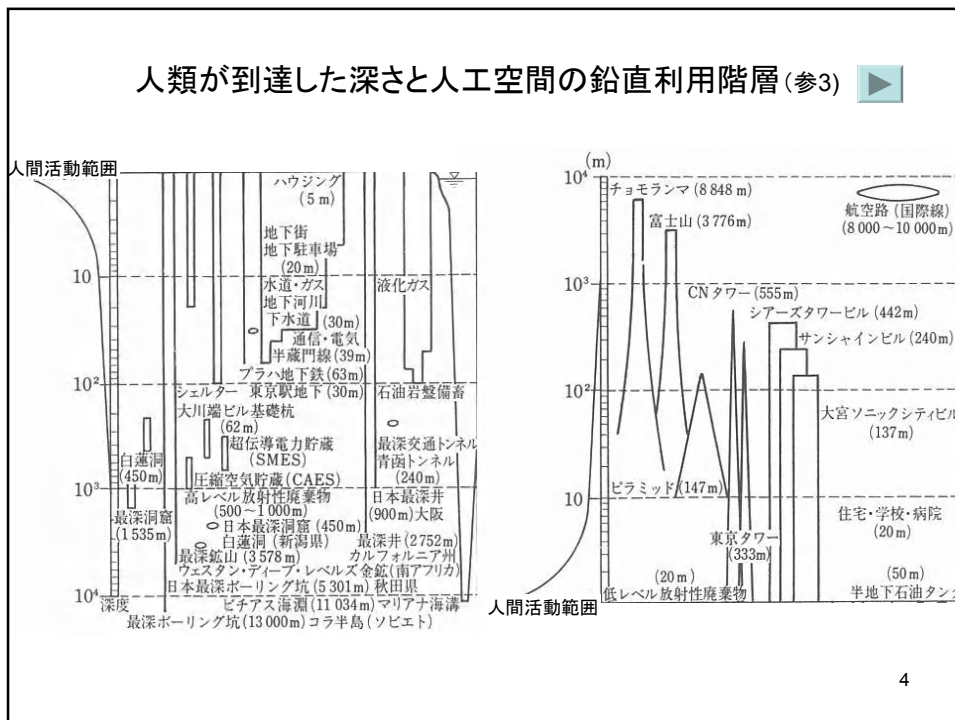
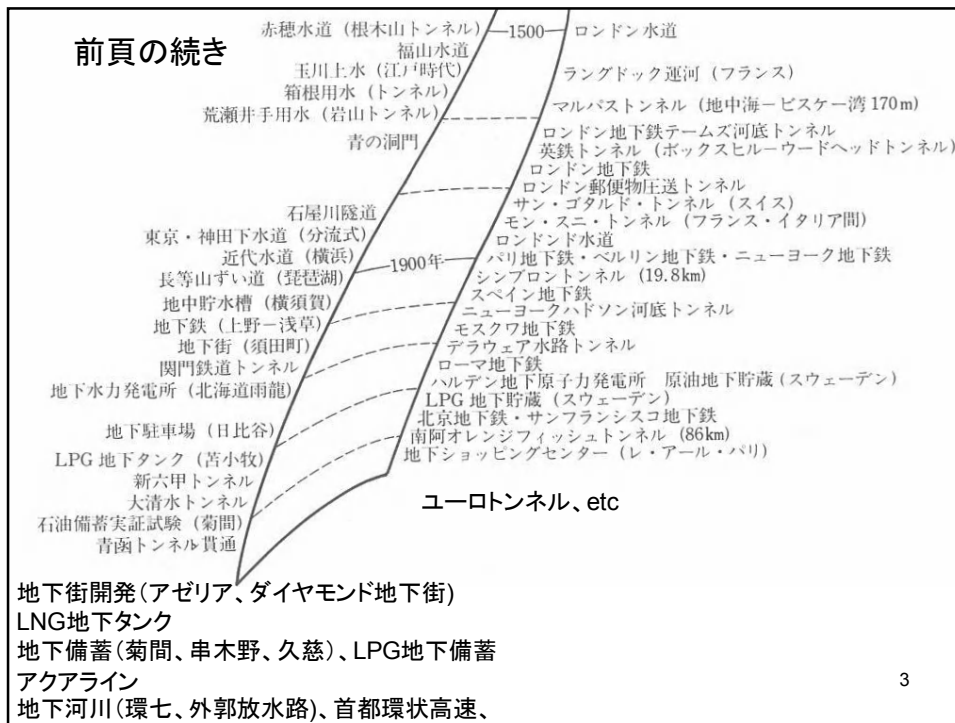
2週. 地下空間建設技術(地盤、トンネル、地下タンク、地下探査)

1

地下開発の歴史(参3) ▶



2



地下の特性

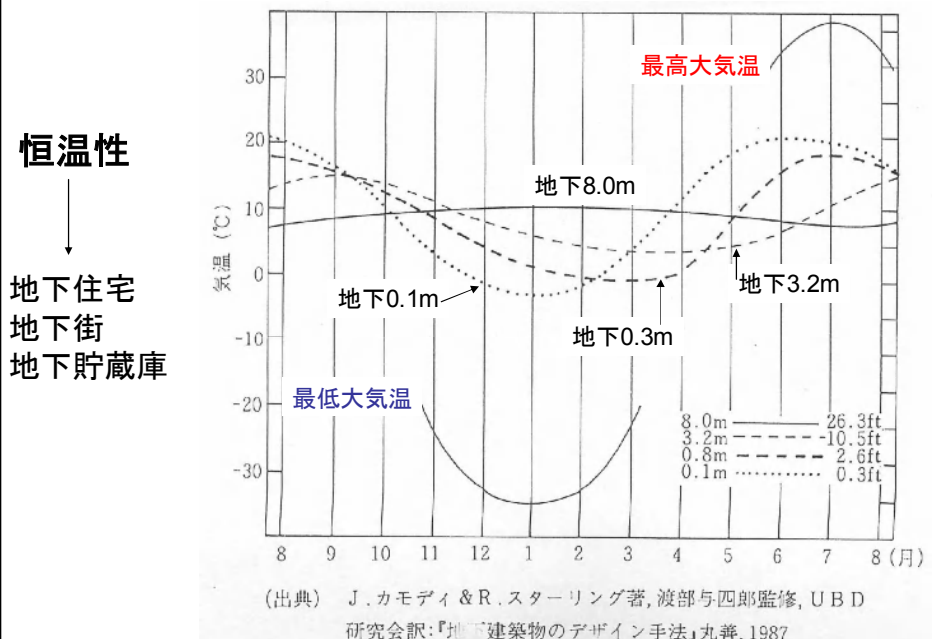
長所: 遮蔽性(光、音、振動、大きな外力、熱、紫外線、景観、etc.)
 恒温・恒湿性
 耐震性
 気密性、放射能遮断性 =>shelter, 実験施設(sカミオカンデ)
 地上より障害物が少ない(あっても対応が可能な場合が多い)
 地上と異なり地盤が力を支える

短所: 高コスト(建設、換気、照明)
 scrap and build困難
 地中埋設物が工事の妨げ(主要道路下、埋設物で一杯)
 建設に伴う地下環境への影響
 閉鎖性 =>防災(火災、洪水)
 自然光の不足、外部眺望の不足(方向確認)
 地下に対する負のイメージ

長所、短所: 深くなると大きな圧力(水圧、土圧)が構造物に作用する。
 封じ込める力。

5

地中温度の年間変動-ミネソタ州ミネアポリス(参4)



ミネソタの覆土式住宅(参4)



7

トロントの地下街 (参4)



寒冷地:
地下街でネットワーク

景観上の利点

パリ・フォーラムデアー(参4)

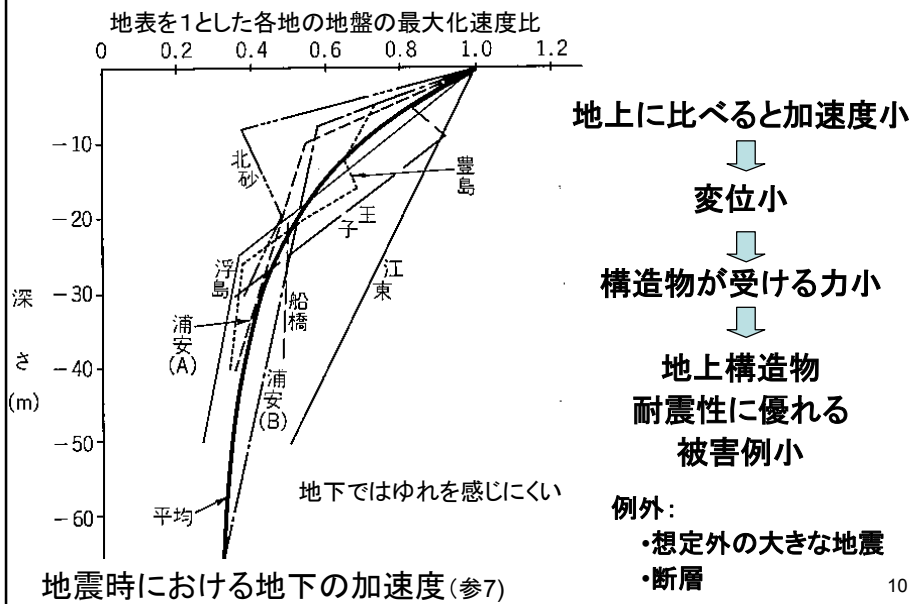
地上からは地下施設は見えない。
パリの古い景観を維持。
都市機能の向上。



建設中

9

耐震性



1995兵庫県南部地震における地下構造物の被害(参5)
-神戸大界駅-



中柱の座屈破壊



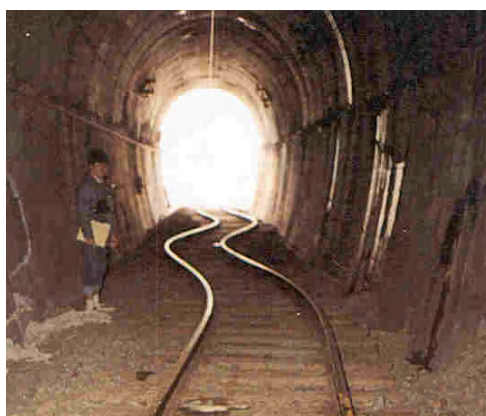
駅舎破壊による道路の陥没

11

断層によるトンネルの破壊(参6)
1978伊豆大島近海地震



断層によるトンネル断面のズレ



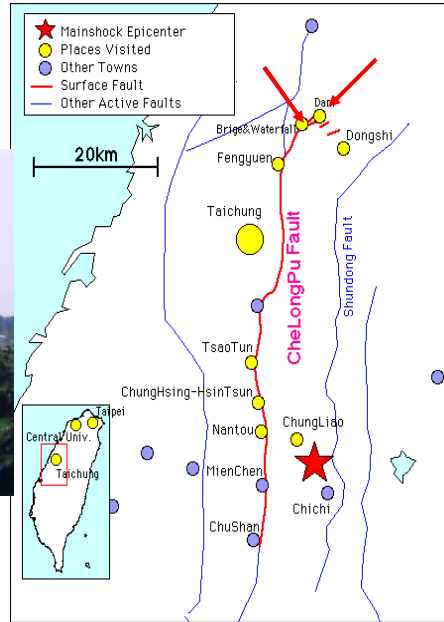
線路の湾曲

12

台湾チチ(Chichi)地震 (Mw 7.7)



断層 (6-7mの上下のズレ)



13

断層による橋破壊 1999 Chichi Earthquake, Taiwan



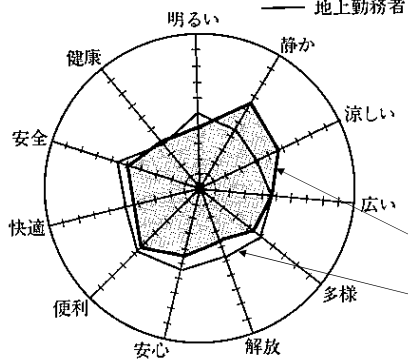
断層によって出現した滝

14

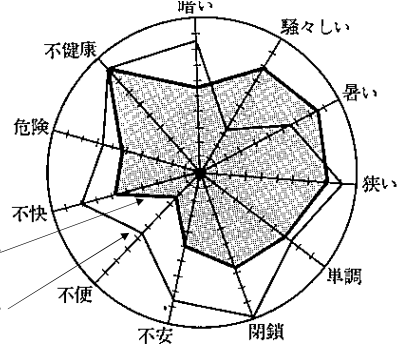
地下のイメージに関するアンケート結果

地下のよいイメージ

— 地下勤務者
— 地上勤務者



地下のわるいイメージ

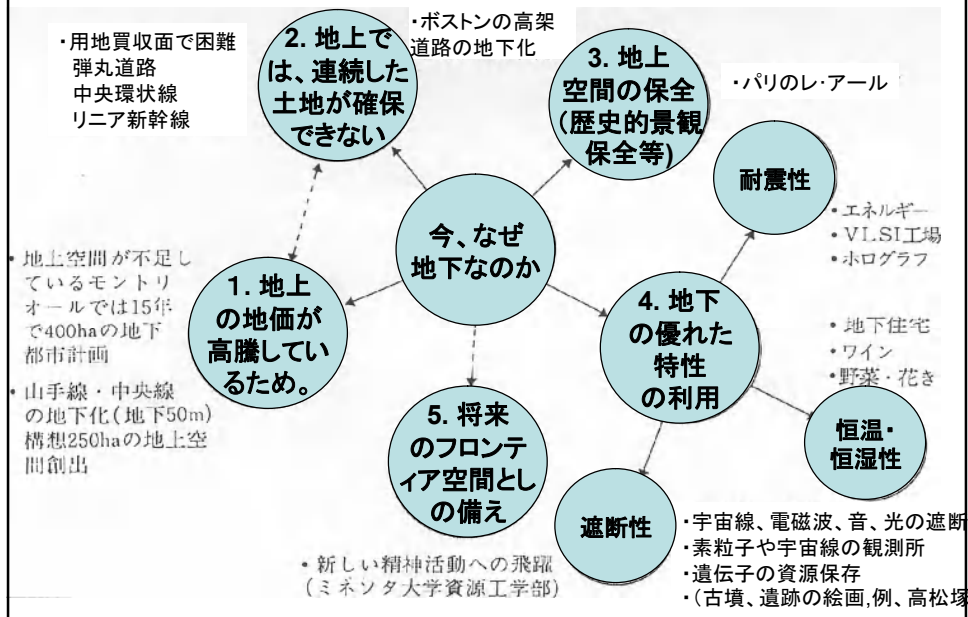


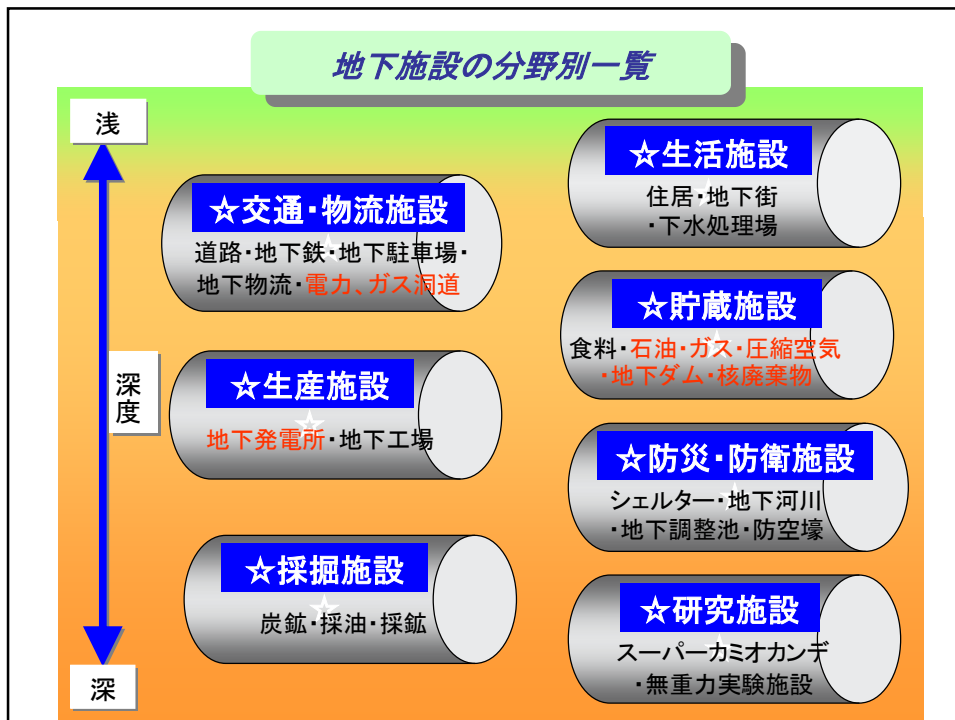
悪いイメージの方が強い。
地下勤務者と地上勤務者とのイメージのズレ(想像と実際の差)

居住空間としては不適

15

なぜ地下利用が必要なのか (参4)





地下空間利用構造物の種類と概略規模 (参3)

	地下構造物	空洞の概略規模 幅×高さ×奥行き (m), (容積 m ³)	地盤の種類	利用深度 (m)
市民生活関連	地下街と地下駐車場	120×2階×250, (6万)	土質	0~20
	地下鉄	9×5.3, 10 (直径)	土質	10~40
	地下駅	50×30×500, (60万)	土質	0~40
	共同溝	5.6×8.9	土質	0~10
	地下貯水池	11.2 (直径)×1 270, (12.5万)	土質	22
交関 通連	鉄道トンネル	9.6×8	軟岩~硬岩	50~
	道路トンネル	10×6	軟岩~硬岩	50~
エネルギー 関連	地下発電所 (揚水式)	25×50×150, (19万)	硬岩	100~500
	変電所	46×37×80, (14万)	土質	0~40
	石油備蓄 (菊間実証プラント)	15×20×112, (3.4万)	硬岩	70
	超電導電力貯蔵*	8×44×1 250, (44万)	硬岩	500
	圧縮空気貯蔵*	15×20×50, 8本 (12万)	硬岩	600
	原子力発電所*	30×50×230, 数個, (100万)	硬岩	100~500
	放射性廃棄物処分*	6×6×1 000 (150本), (540万)	硬岩	500~1 000

*構想、計画 ライフライン: 電気・ガス、電話・情報伝達、上・下水道 18

鉄道・高速道路網

都市部:

・Mass transit:

・都市高速: 首都高速道路網

人工(既存施設)の障害



地下利用(トンネル)



都市間:

・高速道路網

・新幹線網

自然(山、川、海)の障害

首都高速中央環状線



中途半端な環状高速の完成

首都高環状線
東京外郭環状道路
圏央道

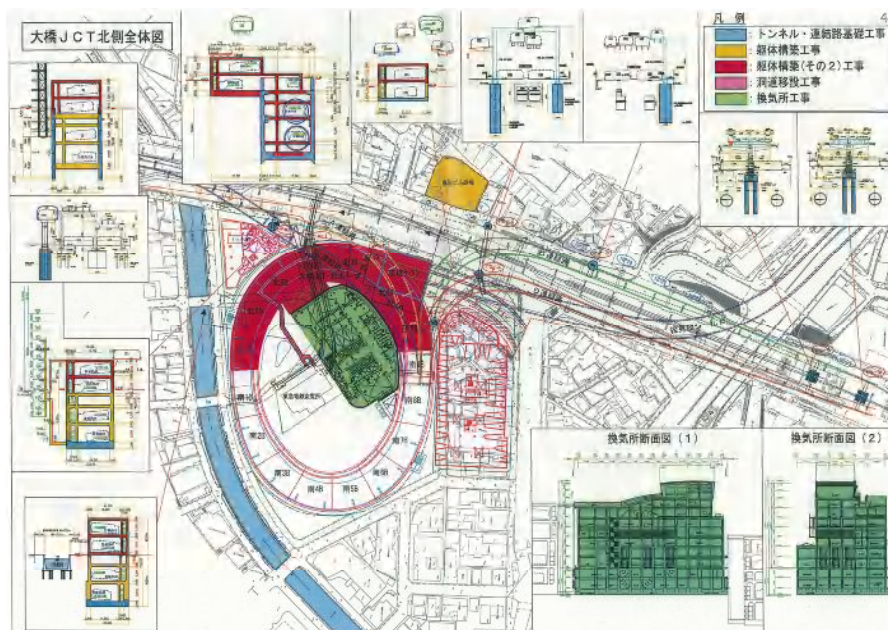


地下利用(トンネル構造)
大断面、大深度、
インターチェンジ

限られたスペースでの地下工事



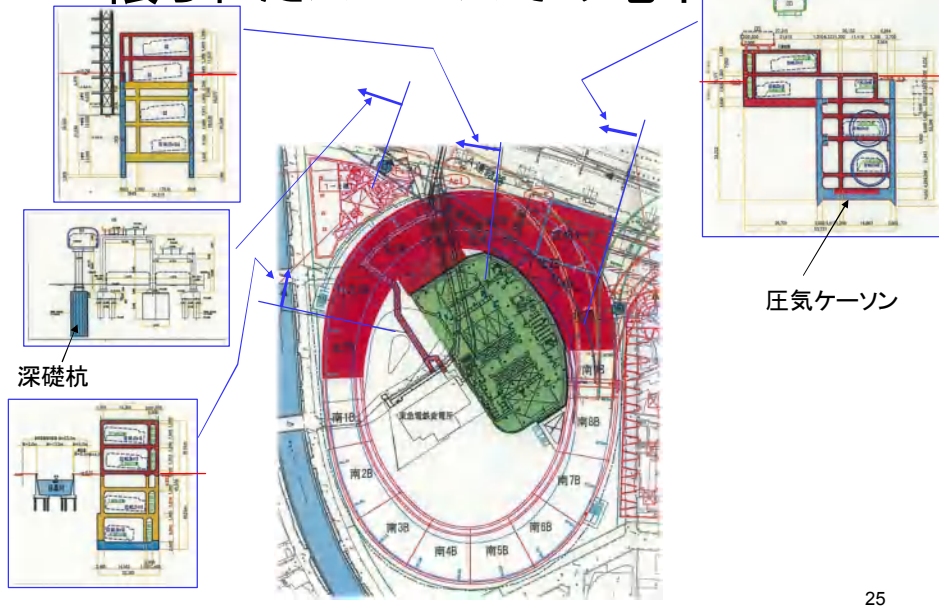
23



工事平面図(鹿島大成東急JV)

24

限られたスペースでの地下工事



25



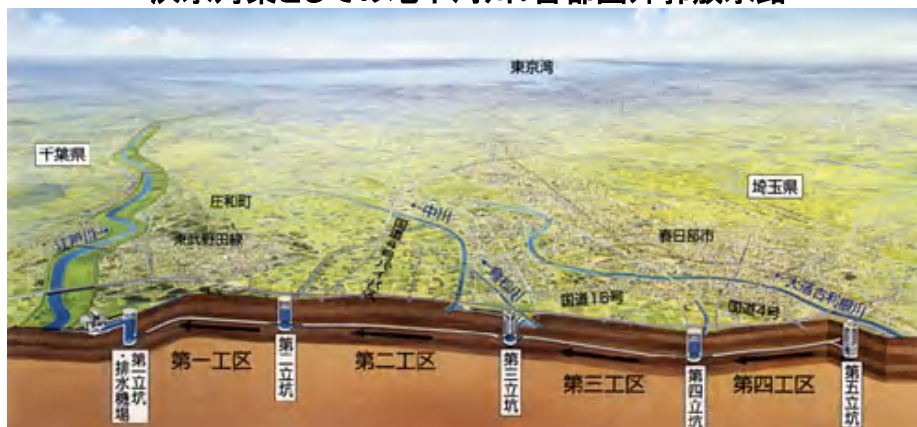
26



27

防災施設

洪水対策としての地下河川：首都圏外郭放水路



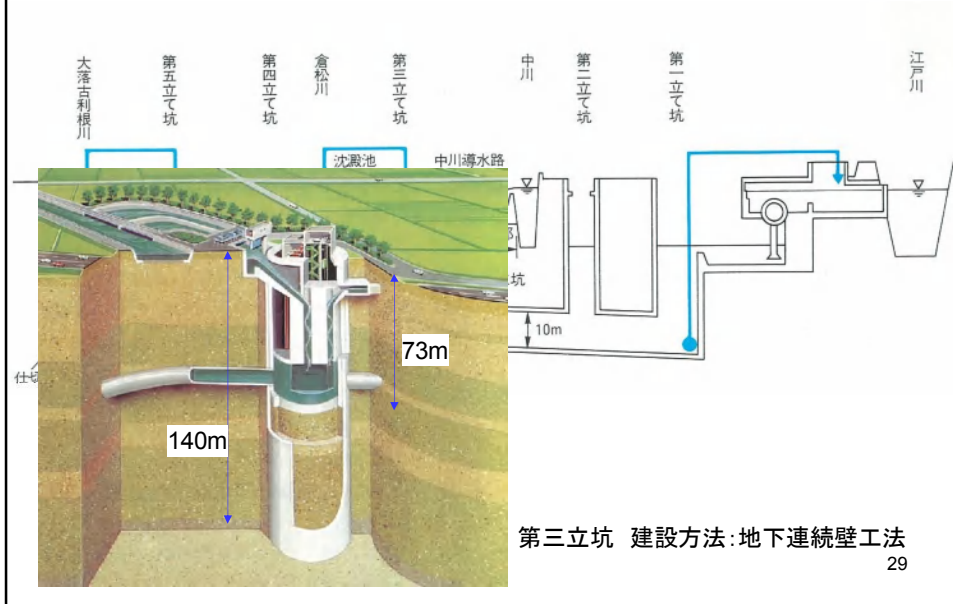
<http://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/works/saigai/sonae/gaikaku/index.html>

国道16号線下、深さ：50m、6.3kmの地下河川(トンネル内径：10m)
5つの立坑(取水4：放水1)

工法：シールド、立坑掘削

28

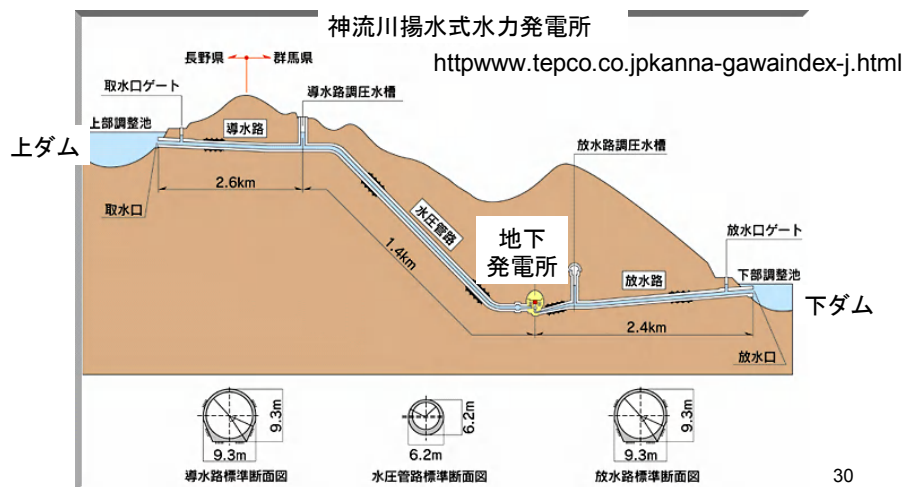
首都圏外郭放水路(参8)



エネルギー関連施設

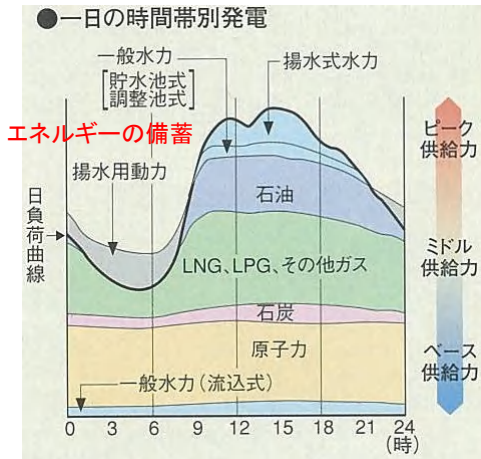
発電、変電施設:

水力式地下発電所(揚水式発電所)



揚水式発電所の必要性

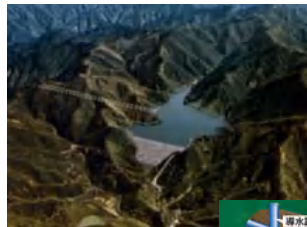
― 夜間余剰エネルギーの有効利用 ―



停止後の再運転に必要な時間:
 水力: 数分
 火力: 2-3時間(ただし、出力調整可)
 原子力: 数日(出力調整不可)

各種エネルギーロスあり、
 超伝導エネルギー貯蔵(SMES)

31

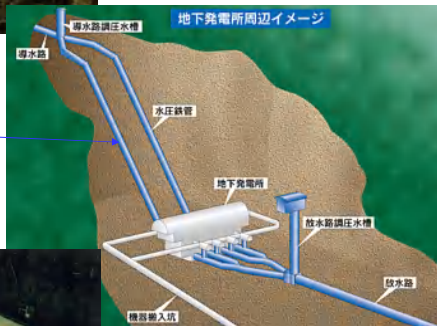


上ダム
ロックフィルダム

水圧管路
傾斜角48°
水圧: 7MPa
(水深700m)

神流川揚水式発電所

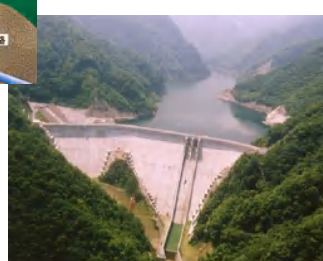
<http://www.tepco.co.jp/kanna-gawaindex-j.html>



下ダム
重力式コンクリートダム



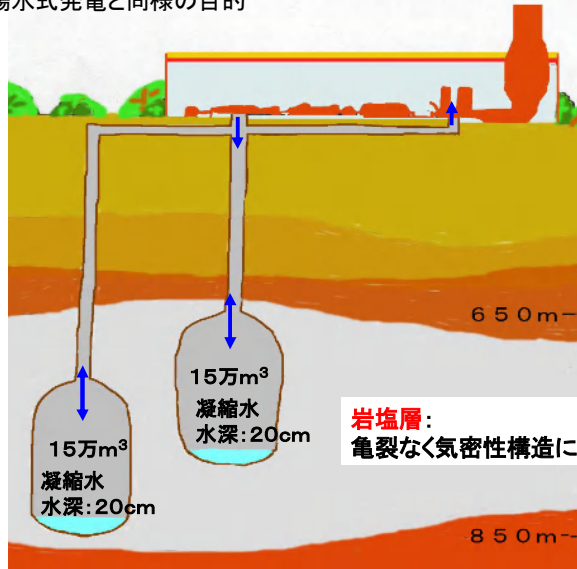
地下発電所:
 地下500m
 高52m、幅32m、長216m



エネルギー貯蔵

圧縮空気貯蔵ガスタービン発電 CAES-G/T (海外の事例)

揚水式発電と同様の目的



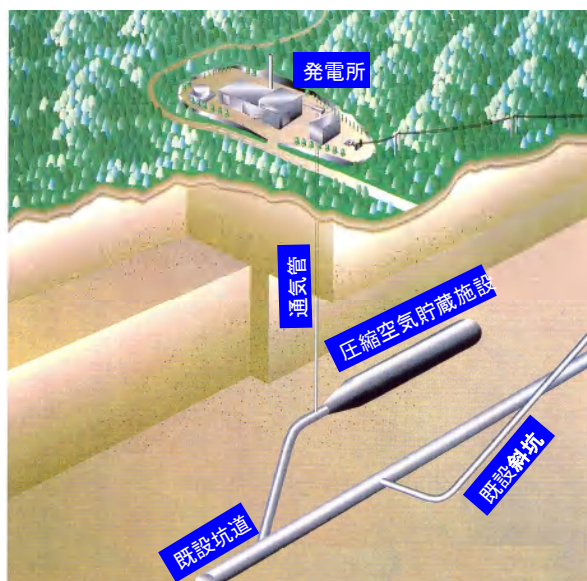
フントルフ(ドイツ)

- ・1979年7月竣工
- ・最大出力 290MW
- ・内圧: 8MPa

岩塩層:
亀裂なく気密性構造に最適

33

圧縮空気貯蔵ガスタービン発電 CAES-G/T (日本の事例)



北海道砂川(炭鉱跡地)

- ・2001年より試験発電開
- ・地下500m
- ・最大出力: 2,000Kw
- ・圧力範囲: 8MPa~4MPa

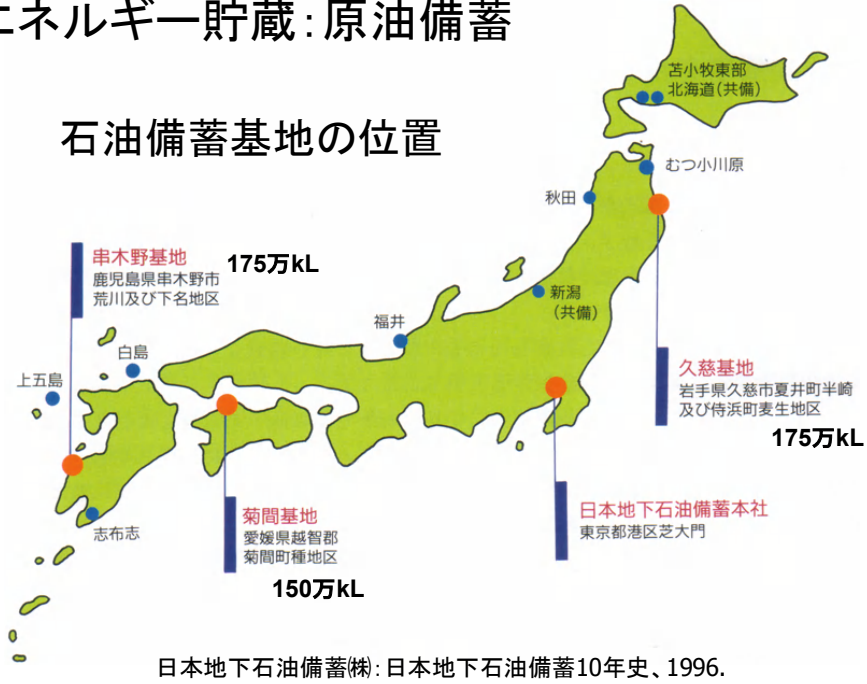
必ずしも機密性に優れた
地盤ではない

構造物自体の機密性をあ
げる

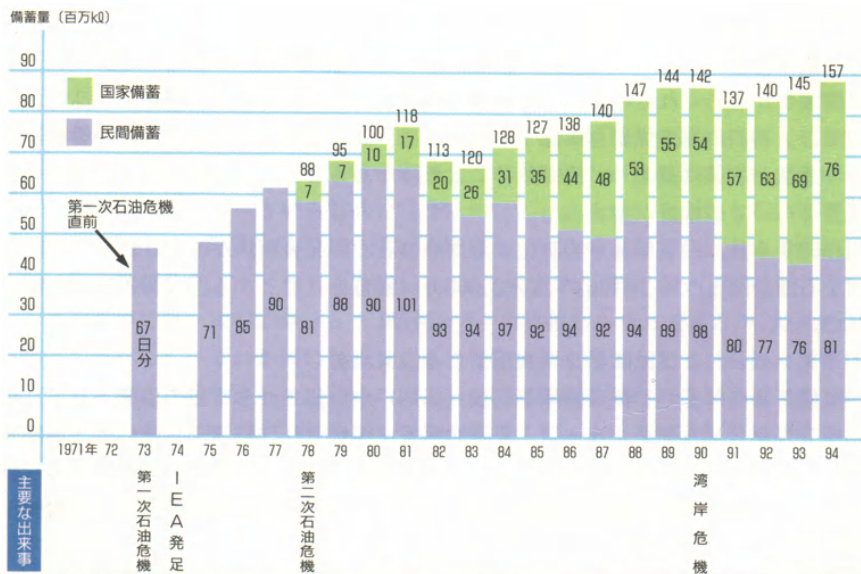
34

エネルギー貯蔵：原油備蓄

石油備蓄基地の位置



我が国の石油備蓄量・備蓄日数および備蓄政策の推移



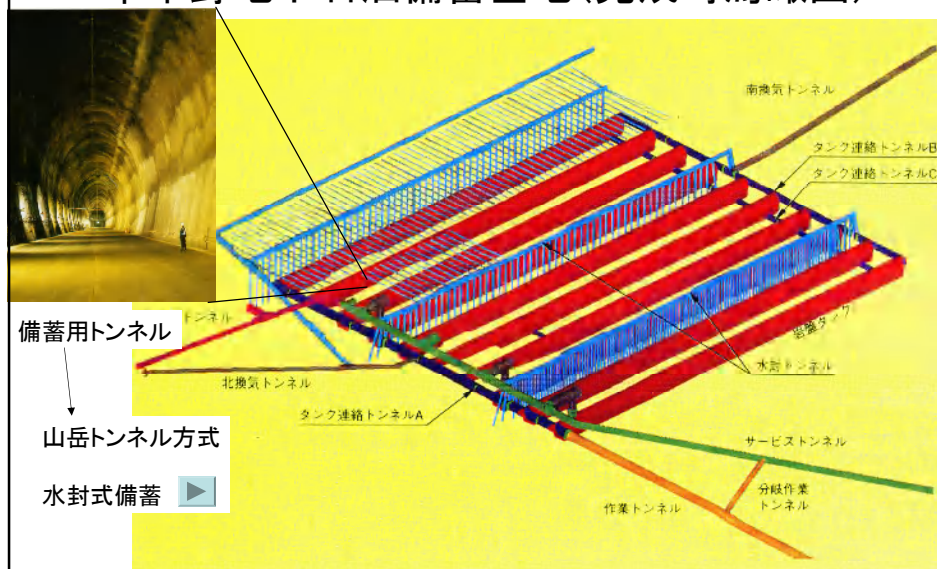
串木野石油備蓄基地全景



串木野石油備蓄基地パンフレット

37

串木野地下石油備蓄基地(完成時鳥瞰図)



日本地下石油備蓄(株): 串木野地下石油備蓄基地 工事記録(岩盤土木)、1994.

38

エネルギー貯蔵

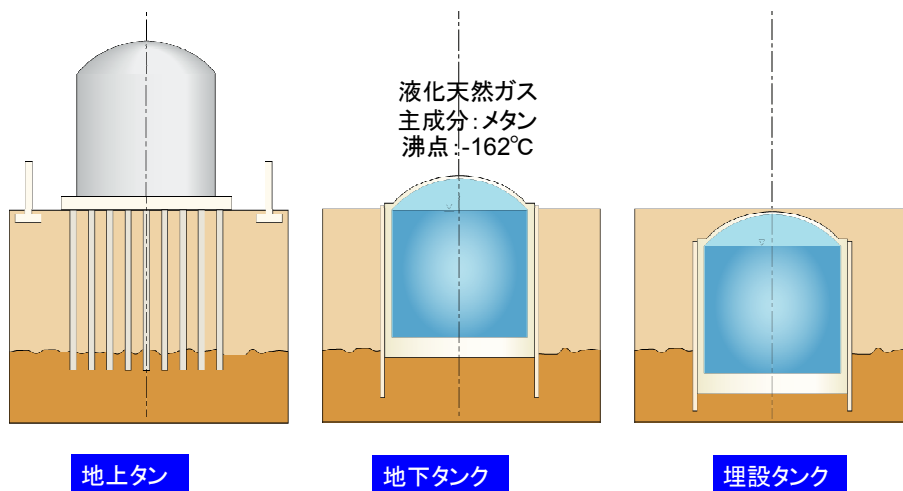
LNG地下タンク基地



39

LNG貯槽形式の変遷

LPG ▶

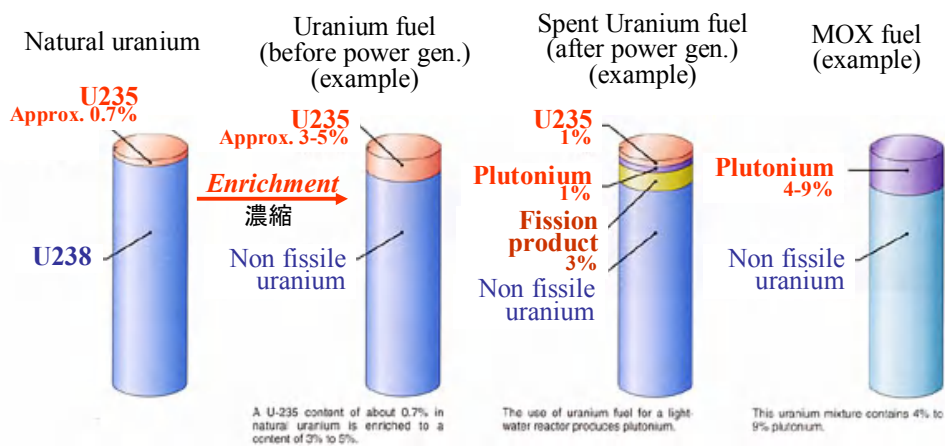


40

廃棄物処分 (高濃度放射性廃棄物)

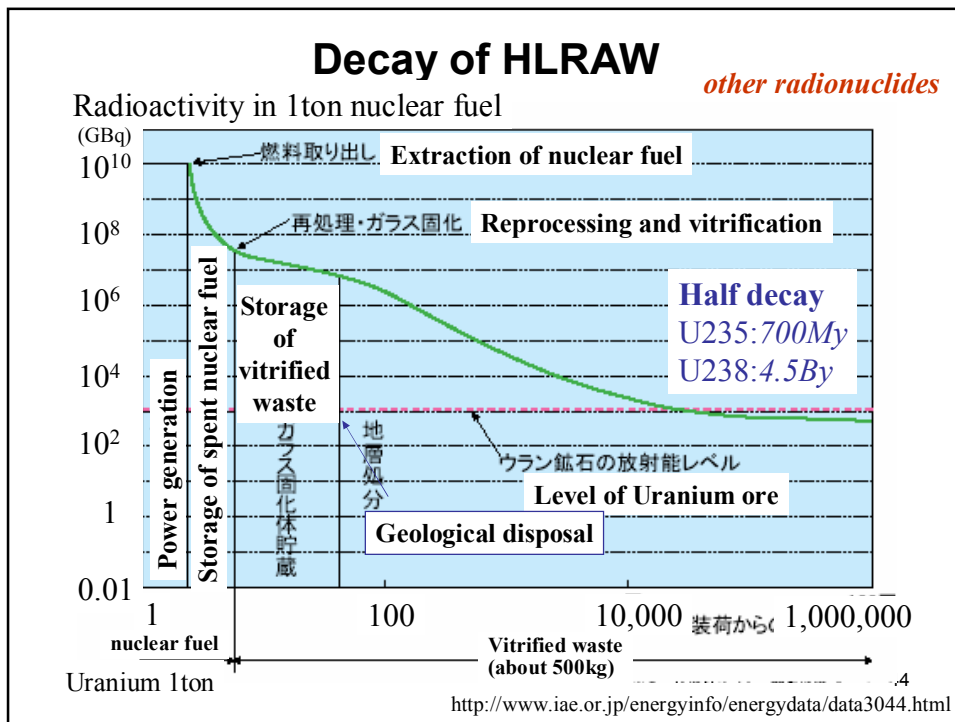
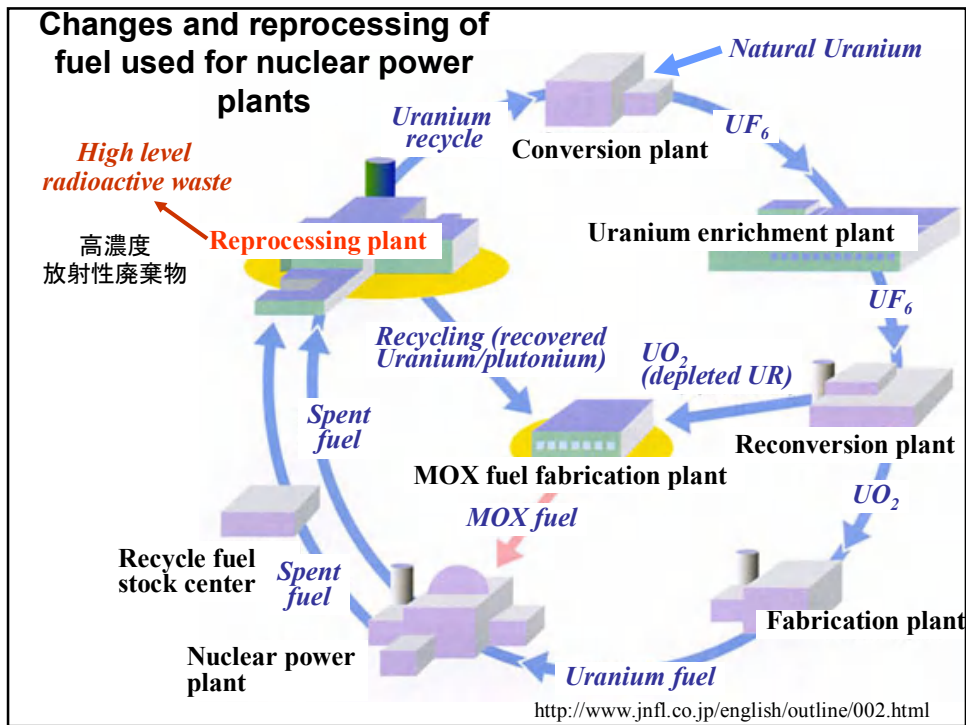
41

Fraction of Radionuclides in Nuclear Fuels



http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/5_kongou/kongou_03/_03_02.html

42



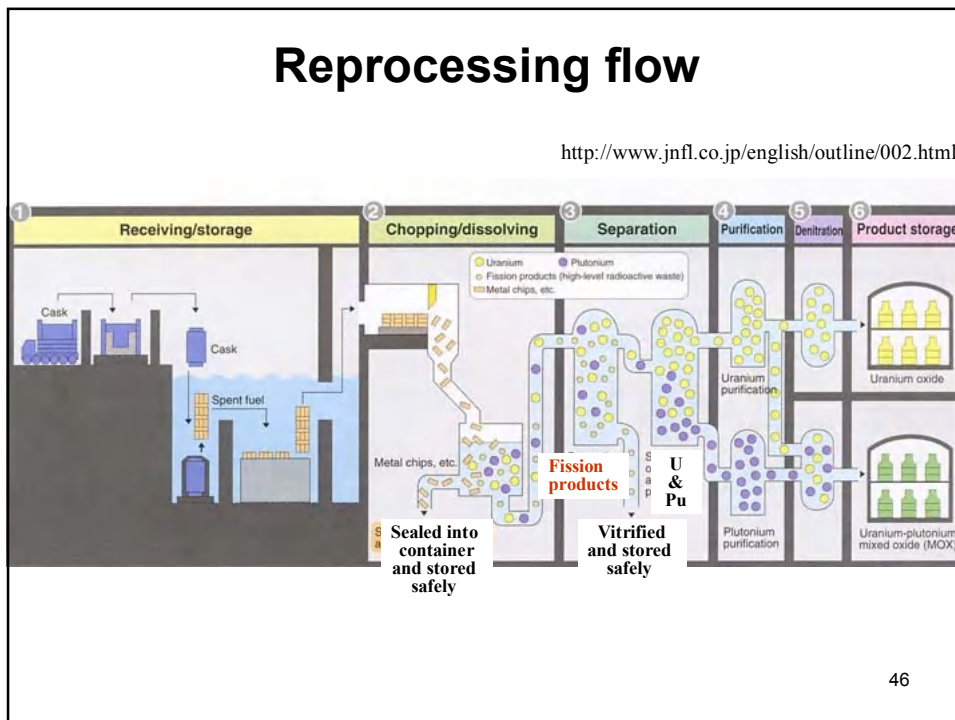
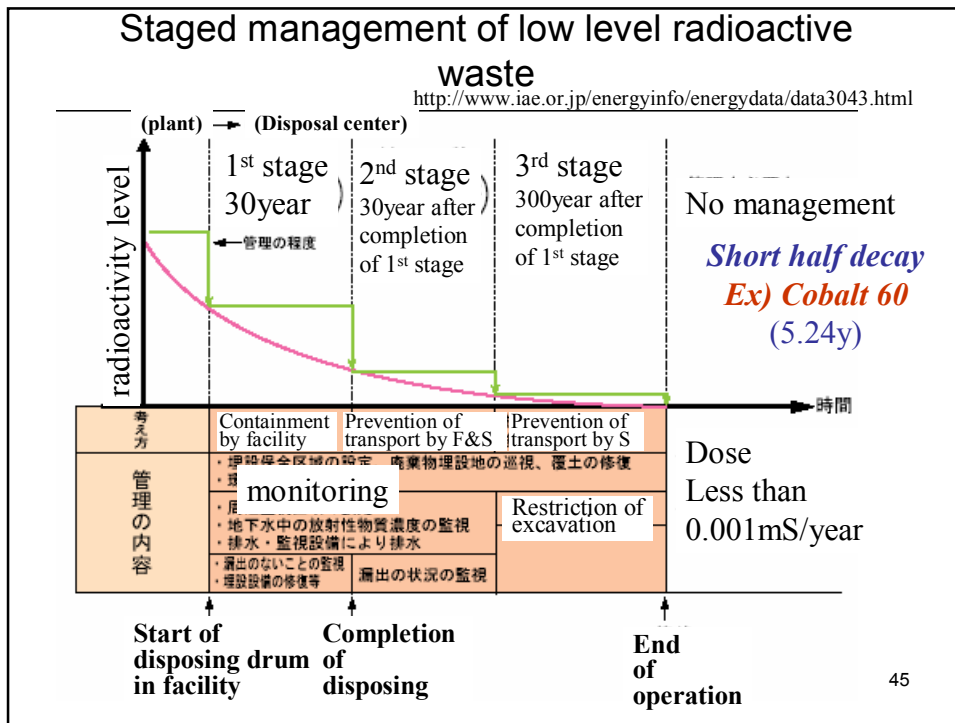
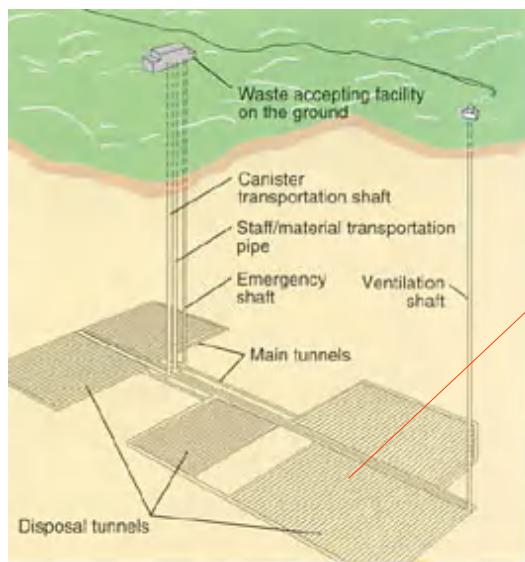
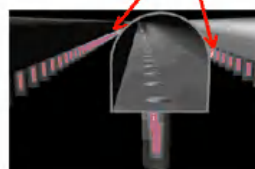
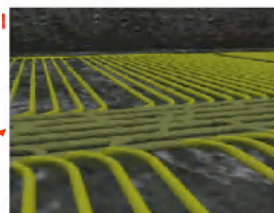


Image of final disposal in geologic formation



<http://www.jnfl.co.jp/english/outline/004.html>



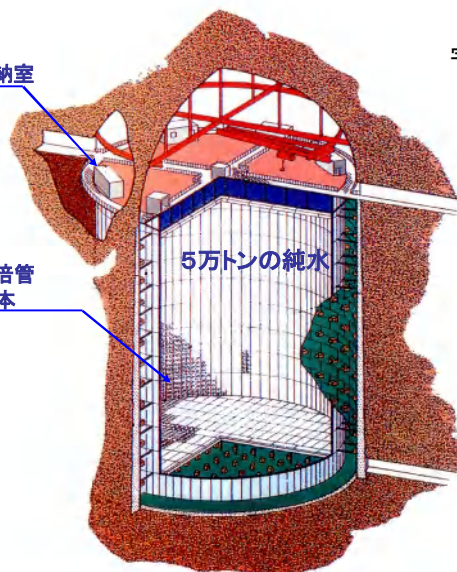
<http://www.numo.or.jp/denshi/top-a.html>

研究施設

スーパーカミオカンデ

電子回路収納室

光電子増倍管
11,200本



宇宙素粒子観測施設

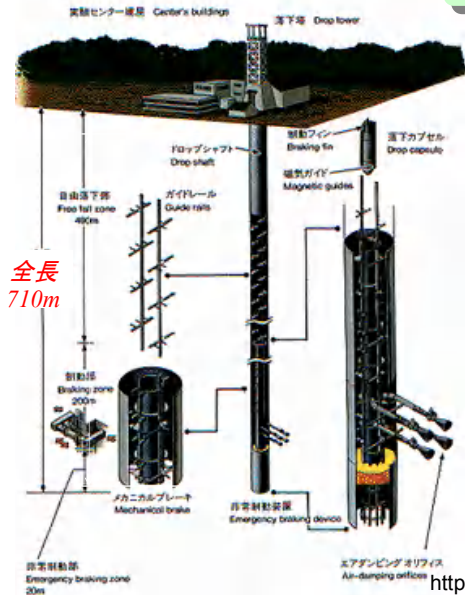
- 神岡鉱山跡地
- 1991年～1996年建設
- $\phi 39.3\text{m} \times h 41.4\text{m}$
- 地下1000m

48

http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/index_j.html

研究施設

地下式無重力実験施設



- 科学技術庁「ジオトピア」計画の一環
- 北海道砂川鉱山の既存立坑利用
- 地下710m
- 100mで5秒間無重量
500mで10秒間無重量
- 精度の良い実験が容易に出来る
- データの回収早い
- 実験コスト安い
- 気象条件の影響ない
- 将来の宇宙ステーションにおける製造技術確立の基礎実験

<http://www.aist.go.jp/HNIRI/chap1/chap1.html> 49

地下施設の利用例(スポーツ、レジャー) ノルウェー、ヨービック市、オリンピックマウンテンホール(参4)



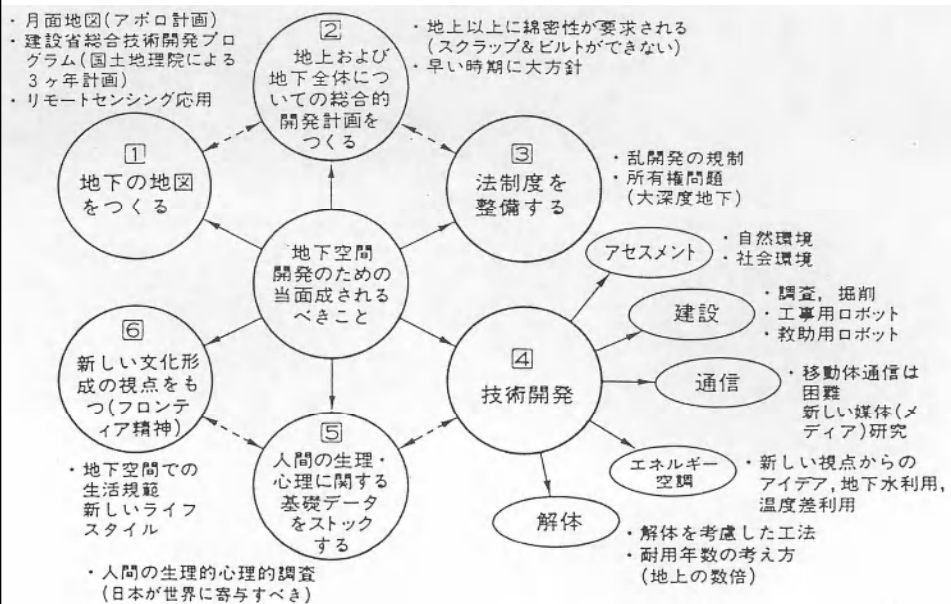
地下施設の利用例: コンサートホール(遮音性)

フィンランド



51

地下空間利用のために当面なすべきこと(参4)



大深度地下の公共的使用に関する特別措置法 (平成13年4月1日施行予定)

対象地域

当面は首都圏、近畿圏、中部圏

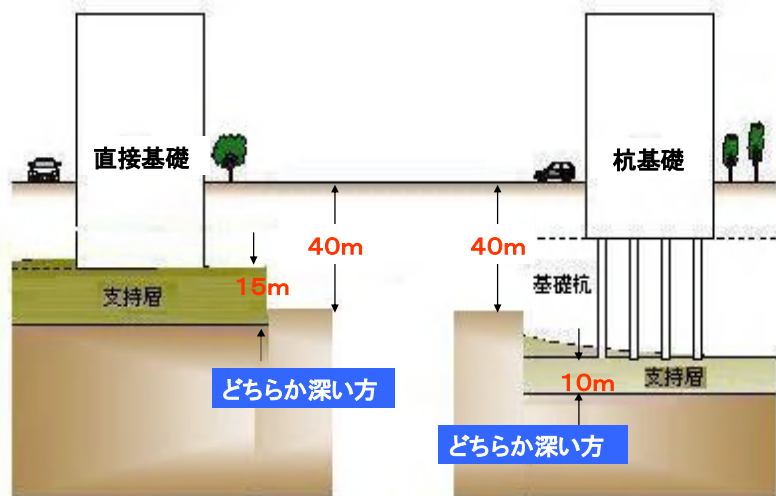
対象事業

道路、鉄道
治水・利水施設(河川、水路、貯水池等)
電気、ガス、上下水道
電気通信(ケーブル)
郵便は対象となっていない

53

大深度地下の定義

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法:平成13年4月施行予定)



54

地下開発の怖さ、難しさ

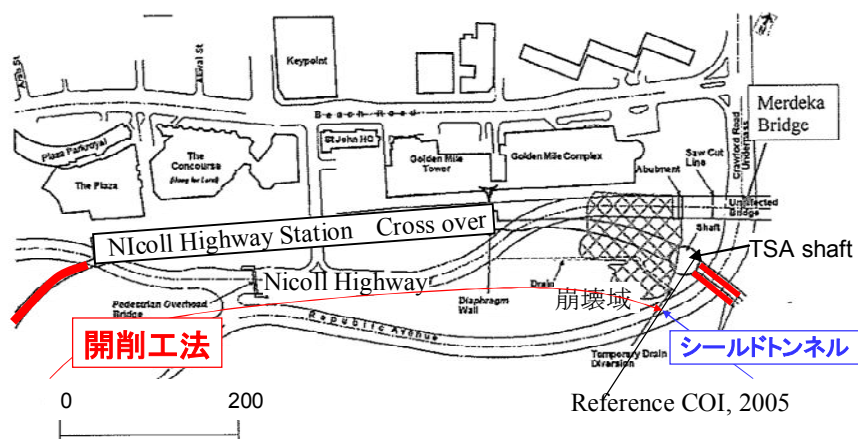
シンガポールで起きた地下鉄建設事故現場



Lewin, J & Chau, T. L.: Intn. Conf. and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology, p.1-11, Subang, 2006.

55

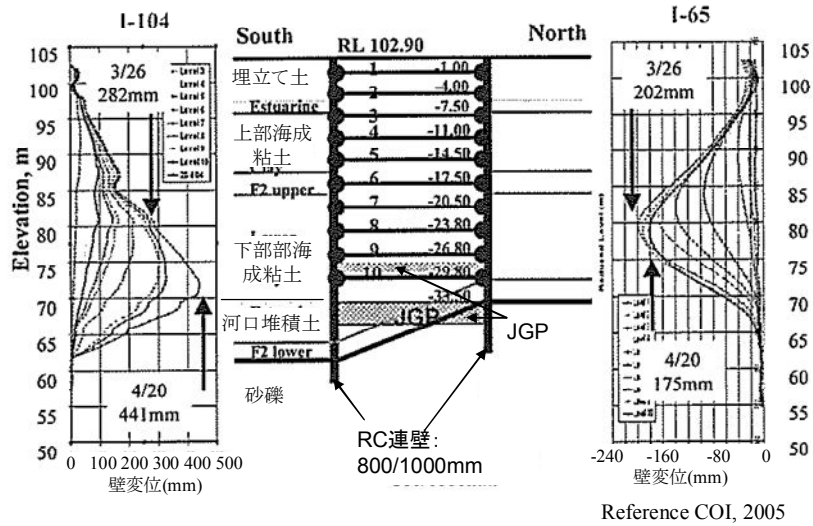
Nicoll Highway MRT現場



Moh, Z.C. & Hwang, R.N.: Proc. 16th SEAGC, Kuala Lumpur, p. 3-20, 2007.

56

Nicoll Highway MRT現場の掘削断面と地質、土留め壁の変形

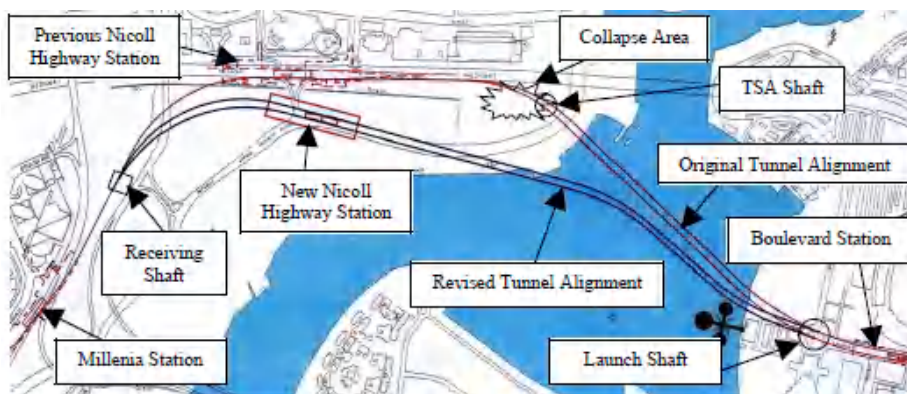


Reference COI, 2005

Moh, Z.C. & Hwang, R.N.: Proc. 16th SEAGC, Kuala Lumpur, p. 3-20, 2007.

57

Nicoll Highway MRT現場



Lewin, J & Chau, T. L: Intr. Conf. and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology, p.1-11, Subang, 2006.

- 4名の死亡者:すべて開削域にいた工事関係者
- 高速、その他のライフラインに甚大な被害
- 再建築費用:300M \$

58

大深度法成立に伴う国の動き

国土交通省(旧国土庁)

大深度地下利用に関する技術開発ビジョンを策定

大深度地下利用に関する技術開発ビジョン検討委員会の創設
(平成12年12月～平成14年3月)

委員長:黒川 洸(東工大名誉教授)

委員:大学関係者5名

事務局:国土交通省 都市・地域整備局 企画課 大深度地下利用企画室

今後の大深度地下利用にかかわる技術開発の在り方の検討

建設技術、垂直輸送技術、防災安全技術、環境制御技術等

大都市新生のための大深度地下利用についての検討

都市再生推進懇談会の提言等をベースとして地下空間利用が果たすべき役割について検討

今後の大深度地下利用プロジェクトの可能性の検証

JAPIC、エン振協、都市地下空間活用研究会等からの提案プロジェクトを参考として、それらの可能性を検証

59

参考文献

参1):Newton:増刊号"21世紀はこうなる"(1989-1992)

参2):「大深度地下利用」国土庁パンフレット

参3):"Geofront、ニューフロンティア、地下空間"土木学会編、技報堂出版(1990)

参4):地下都市—ジオ・フロントへの挑戦 [地下空間利用研究グループ](#)清文社(1989)

参5):Soils & Foundations, Special Issue on Hyogoken-Nanbu Eq.(1996)

参6):「被害から学ぶ地震工学」伯野元彦、鹿島出版会(1992)

参7):「地下都市は可能か」平井堯編著、鹿島出版会(1991)

参8):「最新シールドトンネル」日経BP社(1994)



60