

早大院地盤工学特論Bにおける 廃炉地盤工学人材育成の試みと一事例

(一財)電力中央研究所
渡邊保貴

1

経緯

◆非常勤講師

- 早稲田大学理工学術院、大学院生を対象とした地盤工学特論Bの担当(2015～2017年度)。
- 地盤工学をより深く理解し、視野を広げ、それを**実務で応用する能力**を養うことが目的。

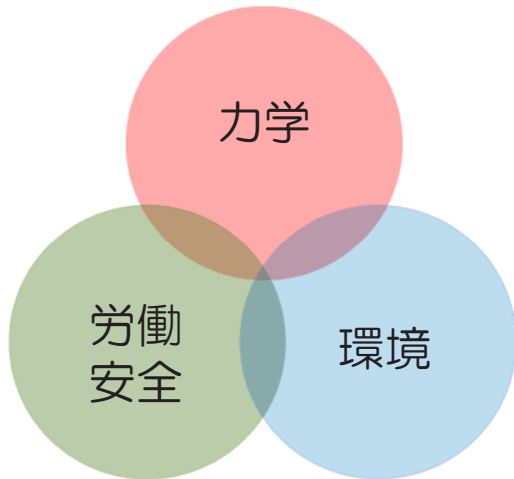
◆福島第一原子力発電所の事故後対応

- シビアなアクシデントであったため、状況把握が進められることと並行し、**臨機応変な対応**や**技術開発**が求められる。
- 廃炉は、放射性廃棄物の処分を含め、長い期間の取り組みになることから、**人材育成**は不可欠である。

大学院の講義において、廃炉地盤工学の一部を試行的に
実施した(2016年度)

2

地盤工学特論のコンセプト



大項目	小項目	キーワード
地盤力学 (渡邊康司/ 大林組)	基礎構造物の設計①	基礎構造物, 支持力
	基礎構造物の設計②	基礎構造物, 支持力
	杭基礎の研究開発事例	杭基礎, 支持性能
	遠心模型実験手法	遠心模型実験, 相似則, 相互作用
地盤環境 (渡邊保貴/ 電中研)	土の微視構造	結晶, 固相分析
	土中の固液反応	化学平衡, 反応速度
	廃棄物の地盤工学的利用における特殊性	溶出, 有機物
	超長期間問題への挑戦	放射性廃棄物処分
労働安全衛生 (吉川直孝/ 安衛研)	事例① 溝掘削災害	溝掘削, 斜面安定
	事例② 擁壁倒壊災害	擁壁倒壊
	事例③ トンネルの崩壊災害	切羽
	災害を減らすために	労働災害

3

演習課題

◆福島第一原子力発電所の廃炉に関する課題設定と解決方策の提案

受講生は、講師3名の講義内容を踏まえ、以下の点を論理的に説明する。

- 1F廃炉に向けて着目した技術的課題
- 課題の解決策(構造、環境、安全管理の観点を含めること)
- 今後の研究・技術開発が必要な場合はその説明

7分間のプレゼンとディスカッションを行う。レポートはA4で1～2頁とする。

- 課題は、最初に提示した。
- 課題を提示した際に、1Fの状況について概要を説明した。
- その他必要な情報は、インターネット等で収集してもらうこととした。

4

演習課題の一例

- 早稲田大学の倉持さん、よろしくお願いします。

5

燃料デブリ移送における 輸送効率の上昇と 安全性の確保における技術的課題

早稲田大学院 建設工学専攻 M2

○倉持隼斗

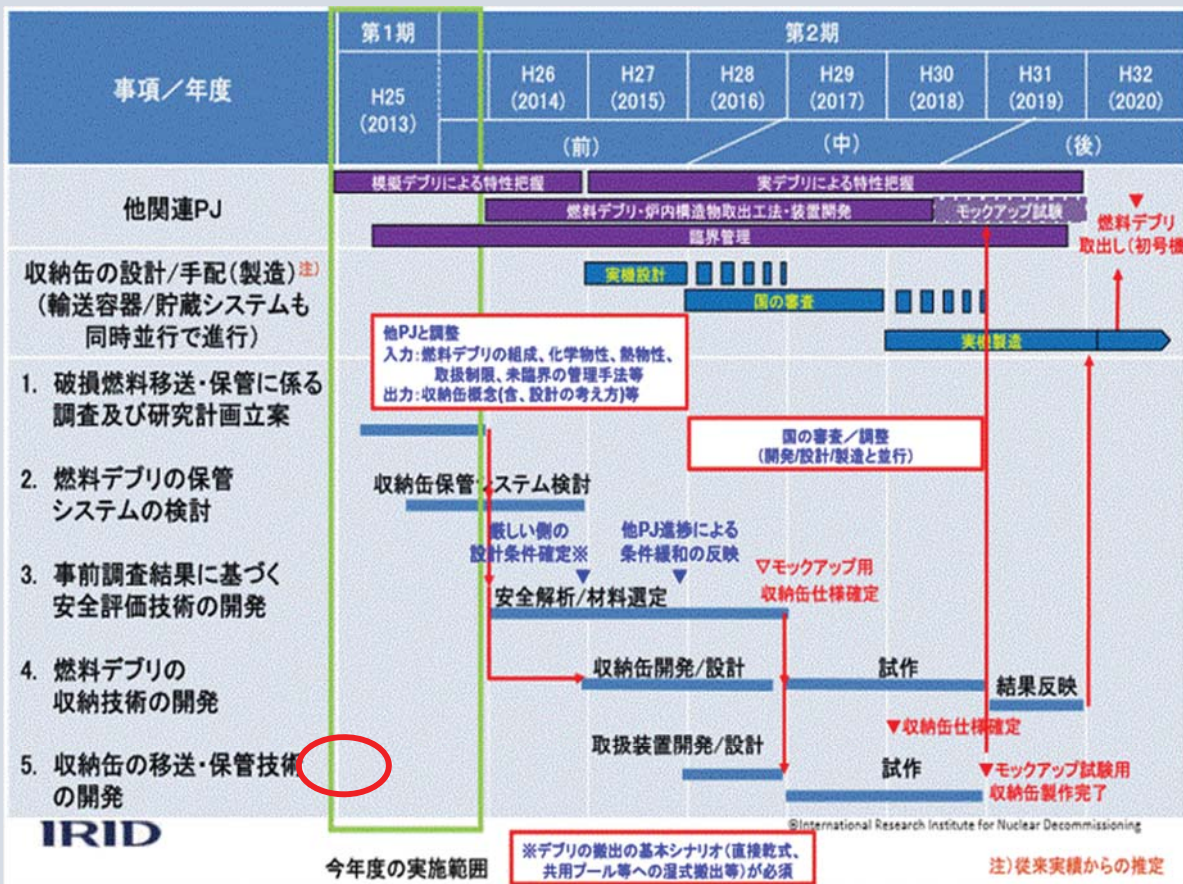
6

背景



* 参考文献 (1)

背景



* 参考文献 (2)

TMIと1Fの比較（燃料デブリ）

原発	TMI-2	1F-1,2,3
炉型	加圧水型	沸騰水型
収納物量	デブリ重量	約880 t以上
	（燃料集合体重量）	3基合計 約450 t以上
	（ウラン重量） （未照射）	3基合計 約260 t以上
溶融範囲	45%, 62 t	燃料の大部分

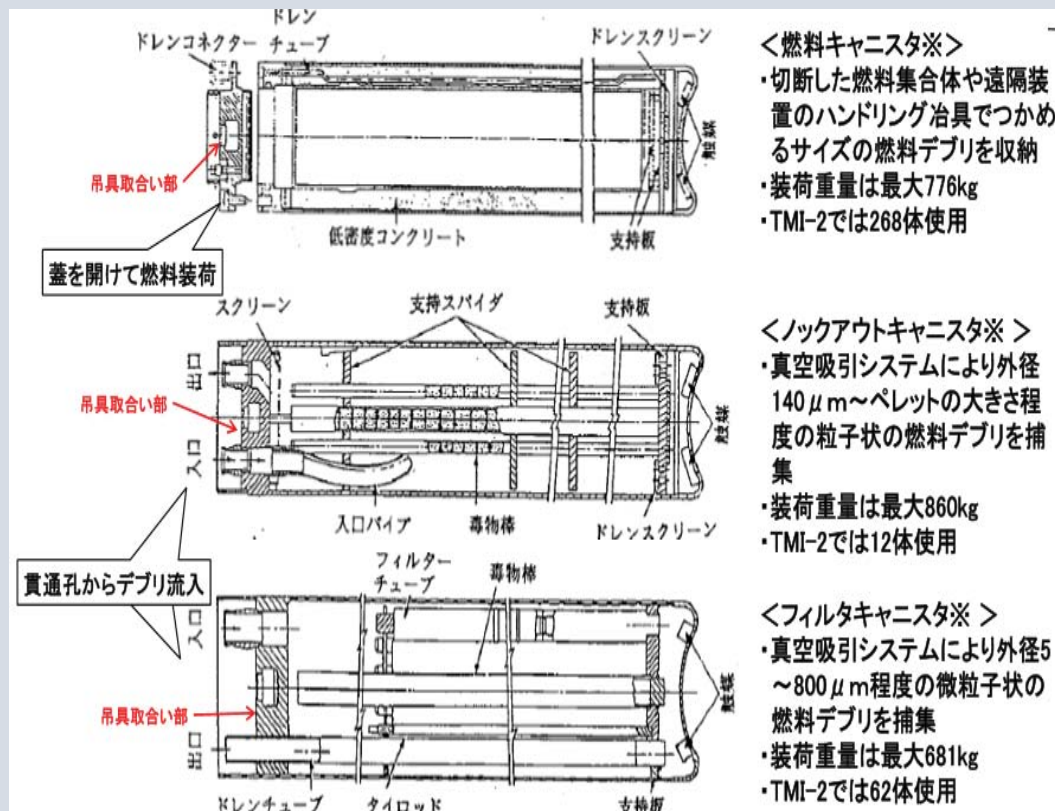
9

仮定の条件

移送のための必要な条件	
燃料デブリ	880 ton
取り出し技術	確立済み
収納缶	開発済み
移送先	青森県六ヶ所村

10

TMIにて使用されたキャニスタ



* 参考文献
(3)

11

TMIと1Fの比較(屋外移送)

原発	TMI	1F(仮定)
燃料デブリ重量 (ton)	134.4	880 約6.55倍
キャニスタ(基)	342	2240
輸送回数(回)	46	301
直線距離(km)	3,400(~アイダホ)	400(~六ヶ所)
	TMIは鉄道輸送	11.8%

12

輸送方法

輸送方法	陸上輸送	海上輸送
移送先	青森県六ヶ所村(仮定)	
輸送手段	鉄道輸送 車両輸送	船舶輸送
ルート上の住宅	多数	皆無
実績	ほぼなし	LLWでは 主流の方法

13

LLW輸送手順

- (1) LLWを輸送容器に収納
- (2) 港にて船載クレーンで積み込み
- (3) 海上輸送
- (4) 陸上クレーンで専用車両に積み込み
- (5) 専用道路を陸送

↑

燃料デブリの輸送実績がないため、LLWの輸送と同手順と仮定

14

リスク抽出

(2)船載クレーンで積み込み

- ・吊能力不足(100トンのキャスク)や海中落下

(3)海上輸送

- ・沈没, 衝突, 乗組員の被曝
- ・輸送能力の不足による輸送期間の長期化, それに伴う乗組員への負荷

15

リスク対策

(2)船載クレーンで積み込み

- ・吊能力不足(100トンのキャスク)や海中落下

(3)海上輸送

- ・沈没, 衝突, 乗組員の被曝
- ・輸送能力の不足による輸送期間の長期化, それに伴う乗組員への負荷

16

ガントリークレーン



原燃輸送所有
(むつ小川原港)
150トン橋形クレーン
・非常時の対策
バックアップ電源
緊急停止後の
荷降ろし

* 参考資料(4)

17

ガントリークレーン

メリット	デメリット
安定した積み込み	岸壁や周辺地盤の 状況が不明である
高効率	地震による脱輪

18

ガントリークレーン

メリット	デメリット
安定した積み込み	岸壁や周辺地盤の状況が不明である
高効率	地震による脱輪

周辺地盤の
地質調査

免震クレーンの
採用

19

リスク対策

(2) 船載クレーンで積み込み

- ・吊能力不足(100トンのキャスク)や海中落下

(3) 海上輸送

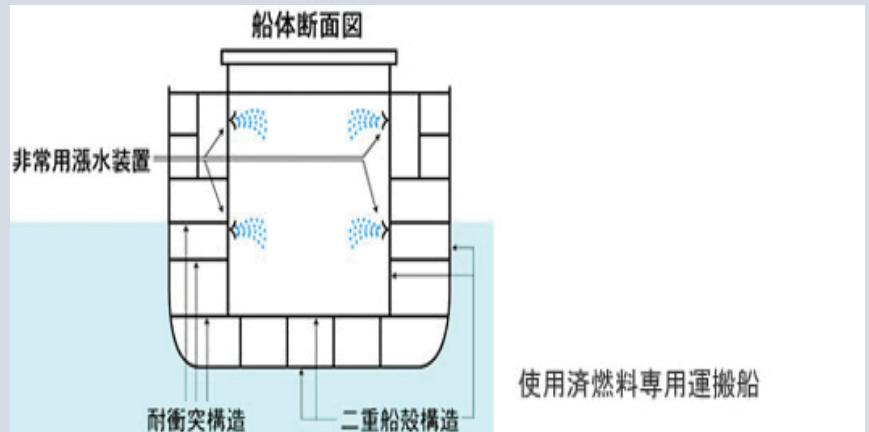
- ・沈没, 電源喪失, 乗組員の被曝
- ・輸送能力の不足による輸送期間の長期化, それに伴う作業員への負荷

20

使用済燃料運搬船

使用済燃料運搬船に要求される性能

- 区画可浸性
- 動的損傷時復原性
- 二重船殻構造
- 遮蔽構造



* 参考資料(4)

21

メガフロート



浮体式構造物

- 建設による環境負荷の低減
- 耐震性とそれによる上載建築物の耐震補強の軽減
- 拡大・縮小・移動が容易
- 広大な内部空間

* 参考資料(5)
上五島石油備蓄基地

22

メガフロート

メリット	デメリット
作業員の被ばく 低減	タグボートの曳航が 不可欠
区画可浸性 動的損傷時復原性 二重船殻構造	運用実績の少なさ

23

メガフロート

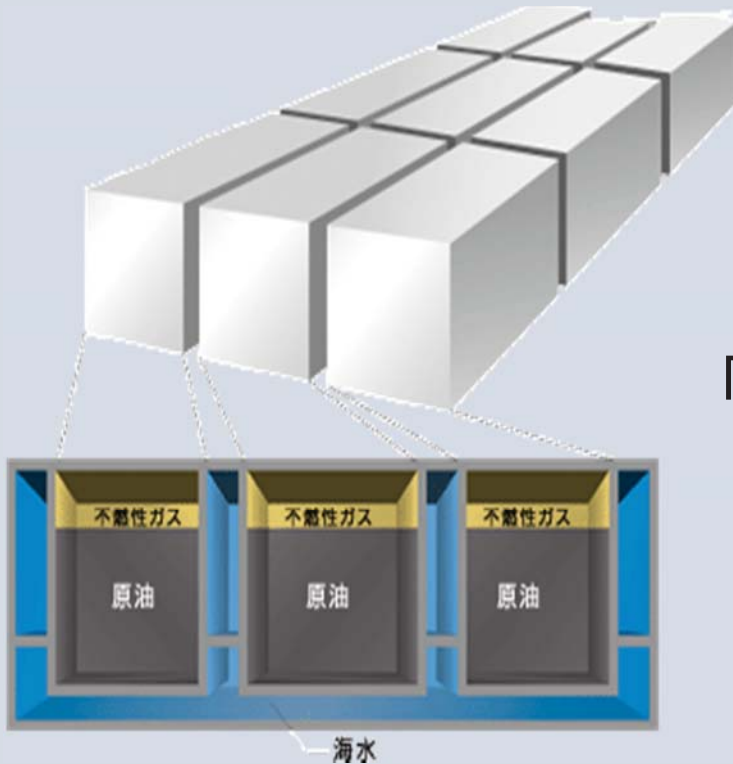
メリット	デメリット
作業員の被ばく 低減	タグボートの 曳航が不可欠
区画可浸性 動的損傷時復原性 二重船殻構造	運用実績の 少なさ

作業員の被曝
低減につながる

石油備蓄基地
としての実績

24

メガフロート(石油備蓄基地)



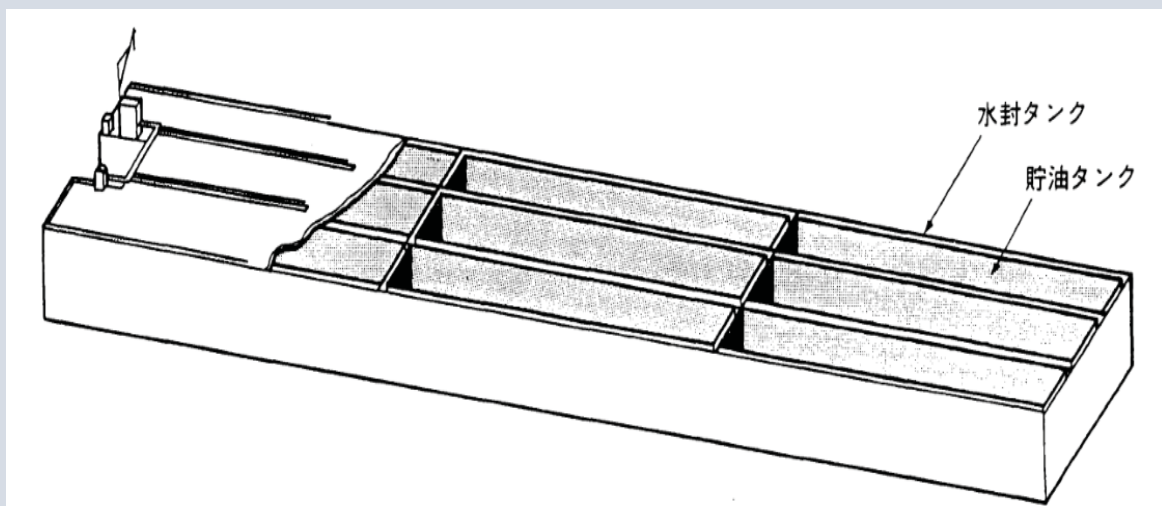
「水封タンクシステム」

- ・原油流出防止
- ・防火対策
- ・二重殻構造

* 参考資料(7)
上五島石油備蓄基地

25

水封タンクシステム



「水封タンクシステム」の応用

- による放射線遮蔽性能
- ・二重隔壁による遮蔽
 - ・海水による中性子遮蔽
 - ・緊急時の海水流入

* 参考文献(6)
上五島石油備蓄基地

26

輸送用メガフロートの応用



浮体式中間貯蔵施設

- ・メガフロートは100年間の耐久性を持たせることが可能
- ・100年間の係留する解析は実施済み
- ・昭和62年の台風12号の最大風速58.7m/sでも異常なし

27

まとめ

燃料デブリの輸送時における技術的課題

- ・輸送効率の上昇と更なる安全性の確保
- ・既存のガントリークレーンを使用することによって、効率および安全性が確保される
- ・メガフロートによる輸送実績はほぼないが、輸送効率が格段に上昇し、安全性は専用運搬船以上である

28

参考文献

- 1) 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議:東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(案) (2015.6.12).
- 2) IRID:平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発) (2014).
- 3) IRID:平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発) 進捗状況(2015.10).
- 4) <http://www.nft.co.jp/safe/safe3.html>
- 5) https://www.mhi.co.jp/products/detail/oil_storage_terminal_kamigoto.html
- 6) 珠久正憲:上五島石油備蓄用貯蔵船の計画と建造, 圧力技術28巻1号, pp. 20~29 (1990.1).
- 7) <http://www.kamigoto.co.jp/facility/index.html>

29

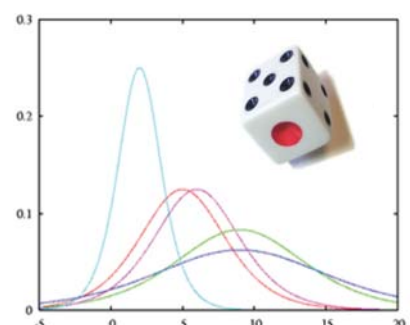
Political-military simulation

兵棋演習、軍事演習

- **Military simulations**, also known informally as *war games*, are simulations in which theories of warfare can be tested and refined without the need for actual hostilities.
- Ideally military simulations should be as realistic as possible. That is, designed in such a way as to provide measurable, repeatable results that can be confirmed by observation of real-world events.
- Validation is the process of testing a model by supplying it with historical data and comparing its output to the known historical result. If a model can reliably reproduce known results, it is considered to be validated and assumed to be capable of providing predictive outputs (within a reasonable degree of uncertainty).



https://en.wikipedia.org/wiki/Military_simulation#/media/File:Lyndon_Johnson_KheSanh_Sandbox.gif



31

演習課題のまとめ

- ✓ 既に国や事業者等により示されている内容も含まれるが、課題の抽出や解決方策は論理的に根拠をもって説明された。
- ✓ 視野を広げる点において、例えば、輸送、放射性核種、放射線防護といった項目に対して、論文等をレビューし、解決方策のロジックを組み、地盤工学との関連を思考していた。
- ✓ 1つの課題に対して1つの解決策を挙げることに留まらず、その策が上手くいかなかった場合を想定した**多重の解決方策**が考えられていた。

廃炉に関する課題の発表例 (詳細や対策案は報告書を参照)
・ 切削や取り出しを行う機械を支持するための構造物、空間的余裕
・ 高温になることで燃料デブリが臨界に達する可能性
・ 燃料デブリ取り出し時のリスクとして「放射線の漏れ」「粉塵の飛散」、人体への影響
・ 燃料デブリの使用済み燃料には見られない特性
・ 保管している汚染水が漏れだしてしまった時の対策、地震への対策
・ 凍土により土が長期間低温に曝された時に土に生じる影響の不確実性
・ 地盤中の配管の破損への対処
・ 燃料取出し時の建屋の崩壊、大規模地震への対応
・ 廃棄物処分場の確保、建設
・ 汚染水、トリチウムの拡散と人体影響
・ 建屋の破断部の止水、破断部の特定、周辺地盤から独立させること
・ デブリ露出の可能性、作業員の被ばく

32

演習課題の発表を通じた所感と 廃炉地盤工学創生に向けた要点

- ✓ 事前に集めた情報の処理能力は素晴らしく、一方で、検討過程において、**軌道修正や論理の補強**に意識を配ることが重要と思われた。
- ✓ 事業や行為に対する**メリットを示すこと**で、**デメリットを受け入れられる社会に近づく**という学生の主張があった。ネガティブな側面を有する事業であっても、恩恵や利益を知った人物が周囲に説明することは重要である。
- ✓ **制度の枠内でできること、制度や制約を外した時にできること**(技術的にローリスクでできる理想的なこと)をそれぞれ個別に考えていても、両者を同時に考えること、統合することはまだ難しいようであった。
- ✓ 質疑応答の時間のように、共に議論する人に適度に情報を与え、問題を共有し、提示した**アイデアを議論の中で発展させていく**ことが大事である。議論の時間に守備に徹しすぎると良くないこともある。
- ✓ 議論の場において、技術者としての正論はとても大事である。一方で、それが**話し相手のスキルレベルによって受け止め方や理解度が異なる**ことも話しながら計らなければならない。物事をどのように伝えるかを工夫してもらいたいと感じた。
- ✓ リスクの抽出、説明、許容可能リスクの模索、**技術レベルとリスク低減の関連思考**が大事と思われた。これらは技術者にしか提示できない情報になりうる。技術者の役割として意識してもらいたいと感じた。

33

まとめにかえて

- 学生は短時間でも数多くの事柄に気づき、表現することに努めていた。廃炉と復興に向けて結集された行動力を発揮するためには、短期的な教育効果だけではなく、**長期的に、ある専門を軸に幅広い教養を得た人材が様々な分野に拡がり、近くの間と議論を重ねることが不可欠である。**
- 地盤工学特論で得た経験をもとに、原子力分野を含めて**様々な分野に進路をとり、行き先での理解度を高める中心人物に育てもらうことを希望している。**
- 国等の方針をブレークダウンし、実践の質と効率を高めるためには、**情報や指示を受ける側のスキルアップ**も重要であり、これを人材育成として幅広く長期的に進めるべきと考えている。