

科学館が伝えたい原子力船「むつ」の話



大湊施設



関根施設

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
青森研究開発センター所長 楠 剛

科学館が伝えたい原子力船「むつ」の話

- むつ科学技術館建設の経緯
- 原子力船「むつ」の建造
- 原子力船「むつ」の開発
- 原子力船「むつ」成果の活用
- 浮体式原子力発電への経験・知識の共有

むつ科学技術館建設の経緯

●むつ科学技術館

原子力船「むつ」の原子炉を保管展示するとともに、青少年への科学教育普及のための活動を実施している。

▶開館 平成8年7月20日



当初は原子力船「むつ」の原子炉等の保管場所として計画。原子炉を一般に公開展示するとともに、科学を楽しめる展示物も設置し、地域の科学教育普及に寄与



「移動科学教室」
小学校等で体験型科学実験を行う



「サイエンスクラブ」
小中学生の科学実験・工作活動



「たのしい実験教室」
館内での体験型科学実験

原子力船「むつ」の建造

－「むつ」建造の背景－

【建造の背景<海外>】

- ・ 昭和28年 米国アイゼンハワー大統領：「Atoms for Peace」
- ・ 昭和30年 米国原子力商船（サバンナ）建造計画（昭和36年竣工）
- ・ 昭和34年 ソ連原子力砕氷船レーニン竣工



原子力砕氷船レーニン(ソ連) <昭和34年竣工>



原子力貨客船サバンナ(米) <昭和37年竣工>



鉱石運搬船オットー・ハーン(独) <昭和43年竣工>

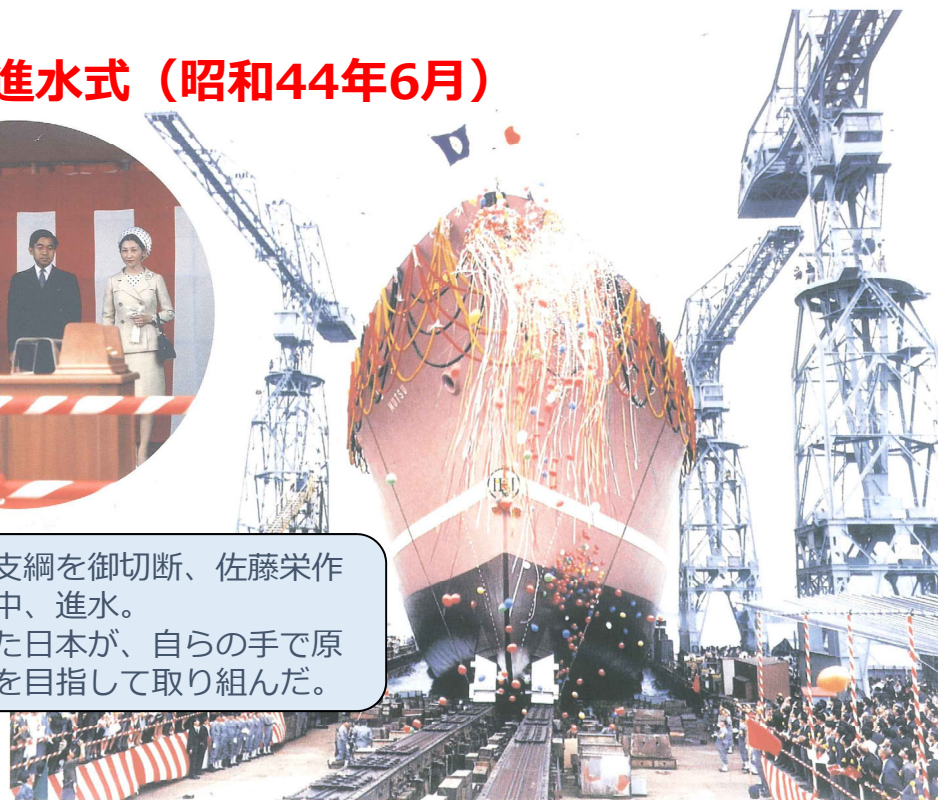
【建造の背景<日本>】

- ・ 昭和30年 我が国にとって「原子力元年」
(原子力基本法制定、翌年原子力委員会、原研発足)
- ・ 世界有数の造船海運国として、海外の原子力船開発の急速進展に遅れをとらないよう原子力商船の自主的開発の機運が高まる。
- ・ 日本原子力船開発事業団 設立(昭和38年)

「むつ」進水式(昭和44年6月)



当時の皇太子妃が支綱を御切断、佐藤栄作首相が拍手で見送る中、進水。
造船海運国であった日本が、自らの手で原子力船の技術の確立を目指して取り組んだ。

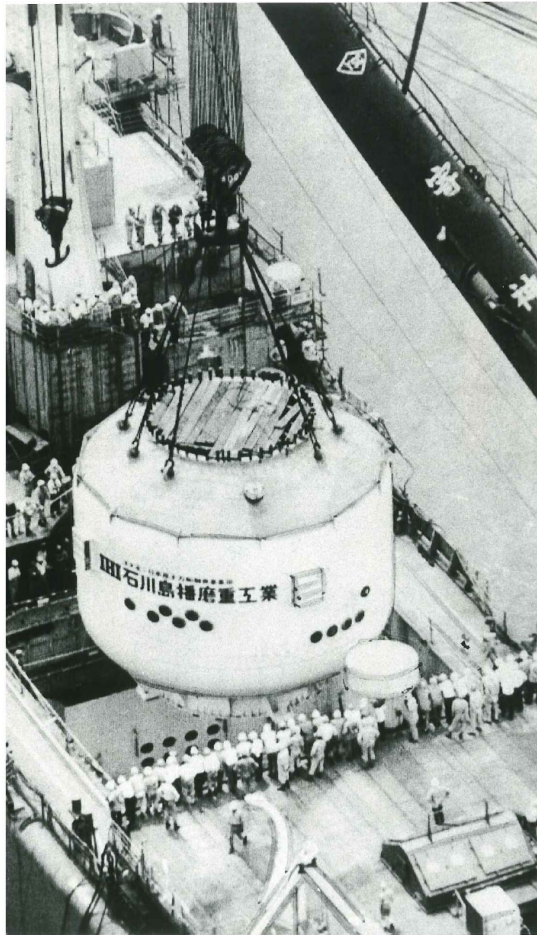


皇太子妃殿下(当時)の支綱御切断による「むつ」進水式
昭和44年6月

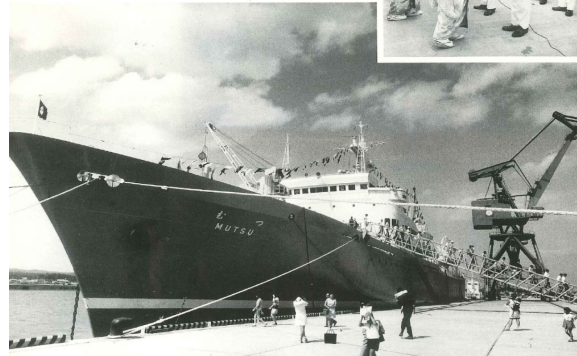
原子力船「むつ」の建造 - 大湊港での原子炉機器類搭載 -

I H I 東京第2工場

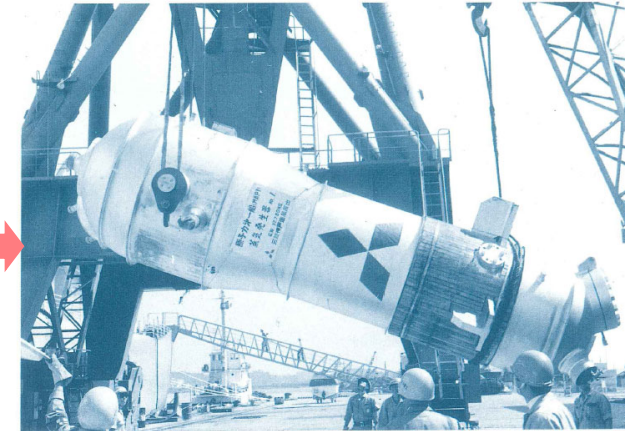
昭和45年7月 大湊定係港に回航



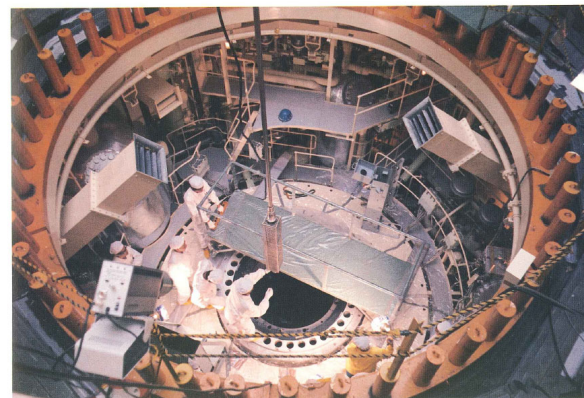
昭和44年8月 原子炉格納容器の搭載



昭和45年7月 大湊定係港回航



昭和45年8月 蒸気発生器の搭載



昭和47年9月 核燃料装荷



昭和47年8月 原子炉圧力容器の搭載

* 起工(昭和43年11月27日)~建造完了(昭和47年9月6日) <4年10ヶ月>

原子力船「むつ」の開発 – 初臨界と放射線漏れ –

昭和49年8月28日 初臨界

昭和49年9月1日 放射線漏れ

尻屋東沖800キロの試験海域

「むつ」初臨界達成：49年8月28日午前11時34分、尻屋岬東方の試験海域で初臨界を達成した (東奥日報提供)

思わず“万歳”して喜び合う関係者たち (東奥日報提供)

出力1.4%に上げる途中で上甲板ガンマ線エリアモニターが警報

実線：中性子
点線：ガンマ線

Labels in diagram: ガンマ線エリアモニタ, 上甲板ハッチ, 2次ガンマ線, 2次遮へい体, 中性子, 1次遮へい体, 断熱材, 炉心, 原子炉容器, 上甲板

およそ50日間におよぶ「むつ」漂流
⇒大湊定係港への帰還 (昭和49年10月15日) ⇒原子炉の凍結

原子力船「むつ」の開発 — 遮へい改修工事・安全性総点検工事 —

「むつ」佐世保港入港
(昭和53年10月16日)



格納容器
上部遮へい体の搭載

遮へい改修工事

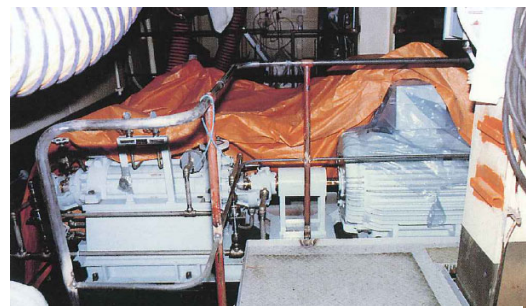
格納容器上部の遮へい体の素材変更
鉛とポリエチレン ⇒ 重コンクリート



安全性総点検補修工事



中央制御盤の改修



高圧注水ポンプ新設

原子力船「むつ」の開発 - 大湊港入港と関根浜新定係港への回航 -

● 昭和57年8月31日 「むつ」佐世保港出港
＜佐世保港に約4年間滞在＞

● 昭和57年8月 大湊港入港



大湊港に接岸する「むつ」



佐世保港を出港する「むつ」

● 昭和59年2月 関根浜新定係港建設着手



大湊港を離岸する「むつ」

● 昭和63年1月26日 「むつ」大湊港出港
＜大湊港に約5年4ヶ月滞在＞

● 昭和63年1月27日
「むつ」関根浜港に接岸



関根浜新定係港に接岸する「むつ」

原子力船「むつ」の開発

－出力上昇試験再開－

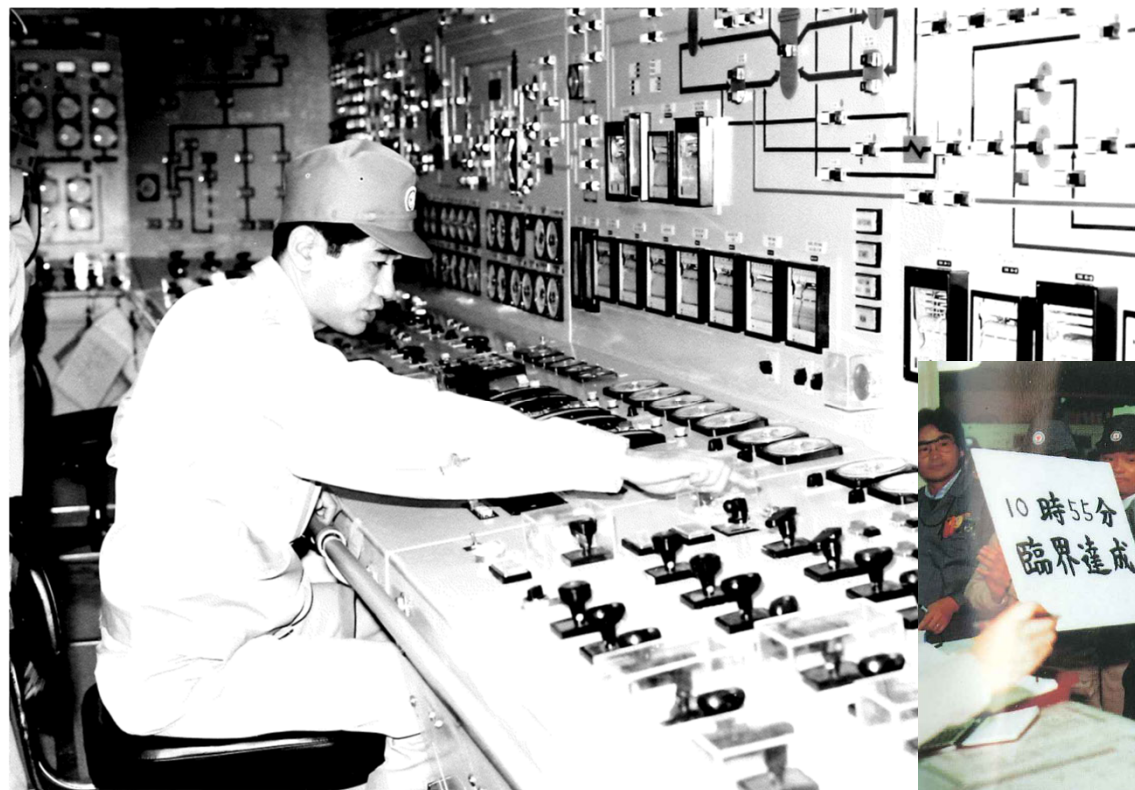
起動前機能試験（平成元年9月～平成2年3月）

平成2年3月

出力上昇試験を開始

平成2年3月29日

初回臨界試験(16年ぶりに臨界に達する)



原子力船「むつ」の開発

－出力上昇試験（6段階）－

	岸壁試験	準備運転	1次航海	2次航海	3次航海	4次航海
出力試験内容	Phase 0(0%) Phase I (20%)	約20%出力 100時間 連続運転	Phase II (50%) Phase III(70%)	Phase III(70%) Phase IV(90%) Phase V(100%)	Phase V(100%)	
期間	H2.3.29~4.28	5.28,7.3~7	7.10~30	9.25~10.9	10.29~ 11.9	12.7~14
最高熱出力	約7.2MW	約7.2MW	約25MW	約36MW	約36MW	約36MW
原子炉運転時間	約257時間	約10時間	約258時間	約216時間	約229時間	約122時間

初めての原子力航行
(平成2年7月)



原子力の灯がともる「むつ」
(平成2年4月)

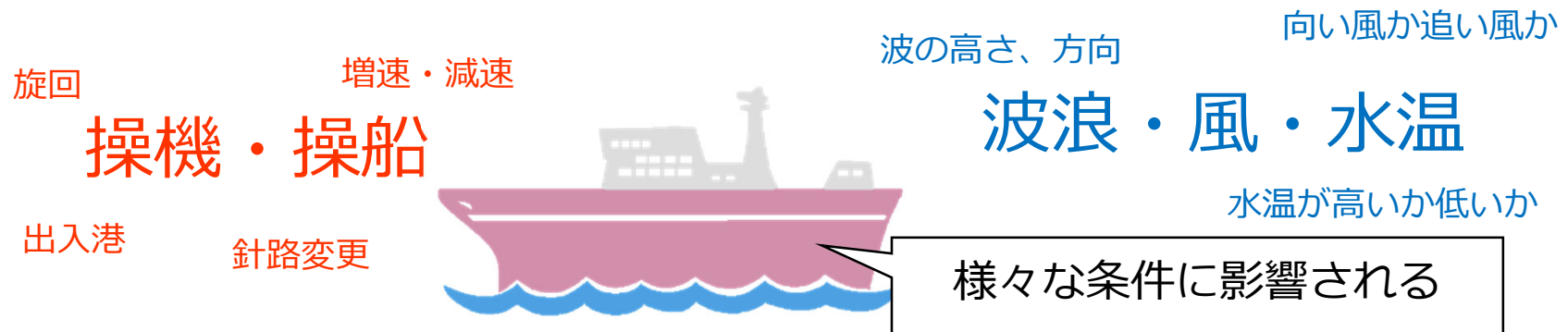


三陸沖約210kmの太平洋上を原子炉出力100%で航行中（平成2年12月）

出力上昇試験や海上試運転の結果により、「むつ」の原子炉は優れた負荷追従性をもっており、船舶用動力源として適していることが実証できた。

原子力船「むつ」の開発 – 実験航海 –

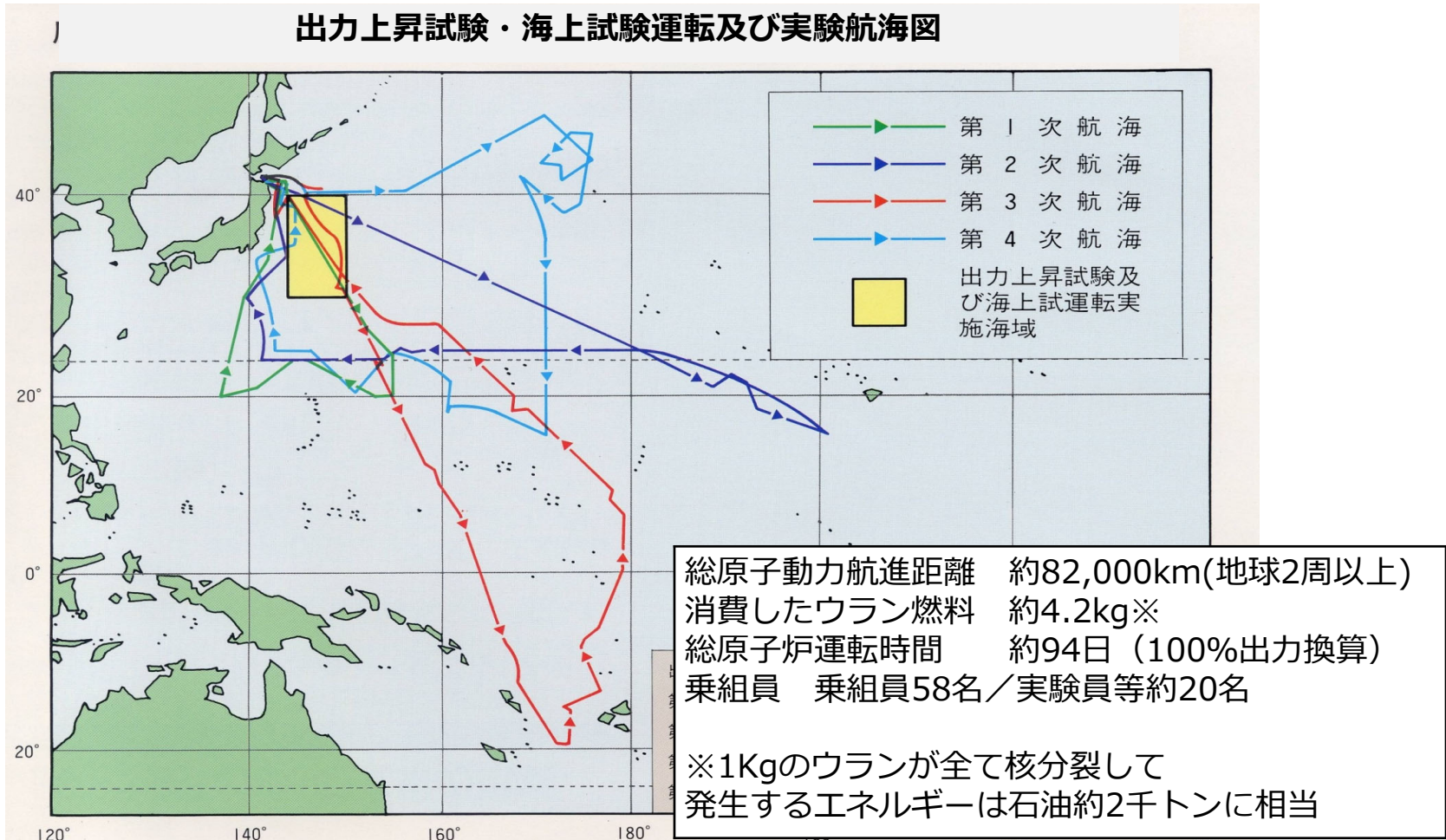
実験航海（平成3年）「振動・動揺・負荷変動が原子炉プラントに及ぼす影響」の調査を目的とした。



実験内容	測定実験実施ケース数					合計
	海域別					
	静穏海域	通常海域	荒海域	高温海域	岸壁係留	
主機出力を変化させたときの挙動調査	15	14	2	4	0	35
操舵時の原子炉プラント挙動調査	15	12	6	0	0	33
波浪による動揺, 傾斜, 負荷変動の影響調査	6	6	4	2	0	18
高温海水の原子炉プラントへの影響調査	6		0	6	0	12
出入港時の原子炉プラント挙動調査	7	0	0	0	0	7
主要機器の応答特性の調査	8	7	4	2	0	21
各測定実験結果を評価するための基準データを得る測定	12		2	0	0	14
燃焼後の原子炉特性の調査	0	0	0	0	6	6
					総合計	146

原子力船「むつ」の開発

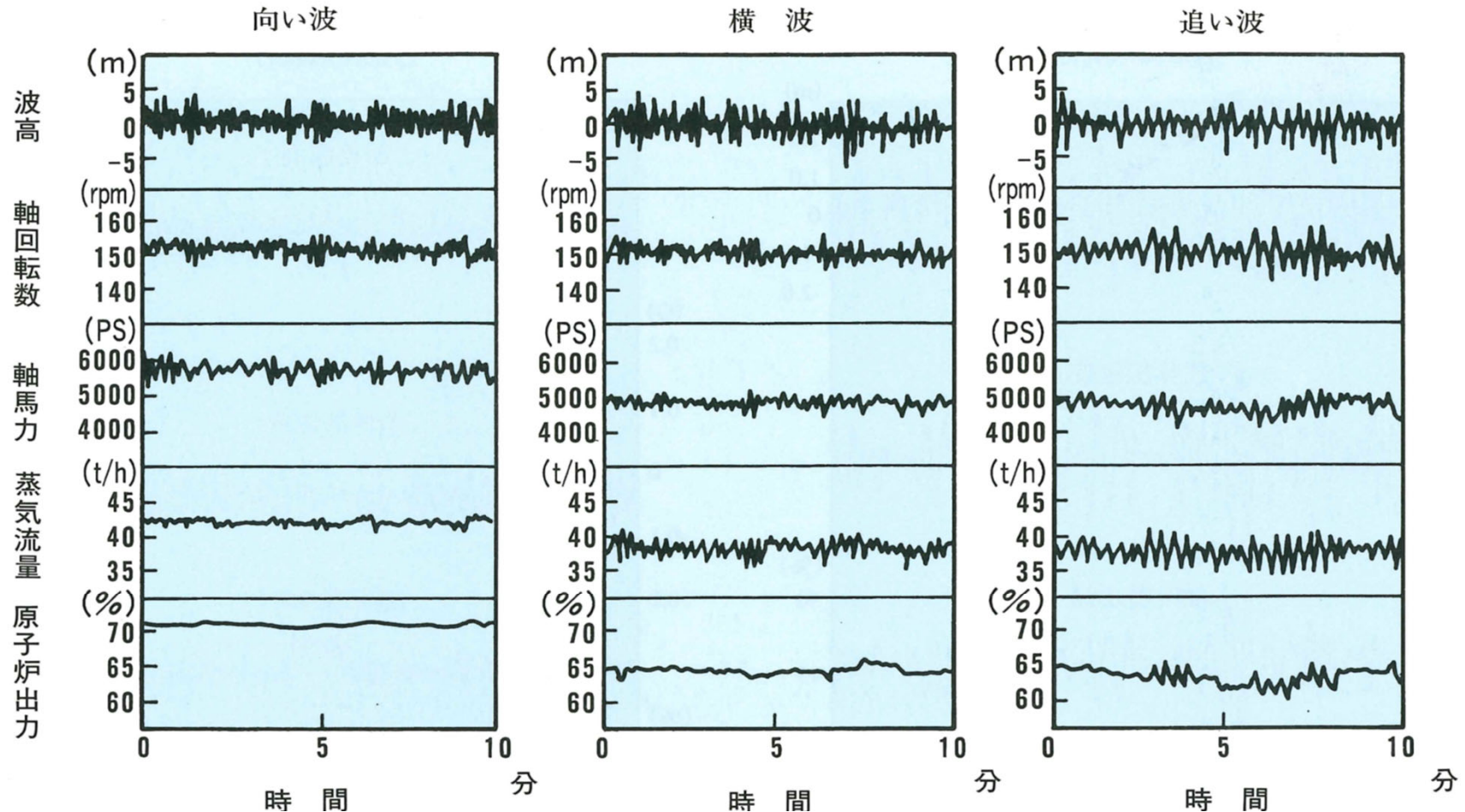
- 4回の実験航海 (平成3年) -



第1次実験航海	2/25~3/11	(15日間)	静穏海域(波高2m以下) 実験
第2次実験航海	5/22~6/20	(30日間)	静穏海域及び通常海域実験
第3次実験航海	8/22~9/25	(35日間)	高温海域(赤道付近) 実験
第4次実験航海	11/13~12/12	(30日間)	荒海域(波高6m以上) 実験

原子力船「むつ」の開発 - 実験航海の成果 -

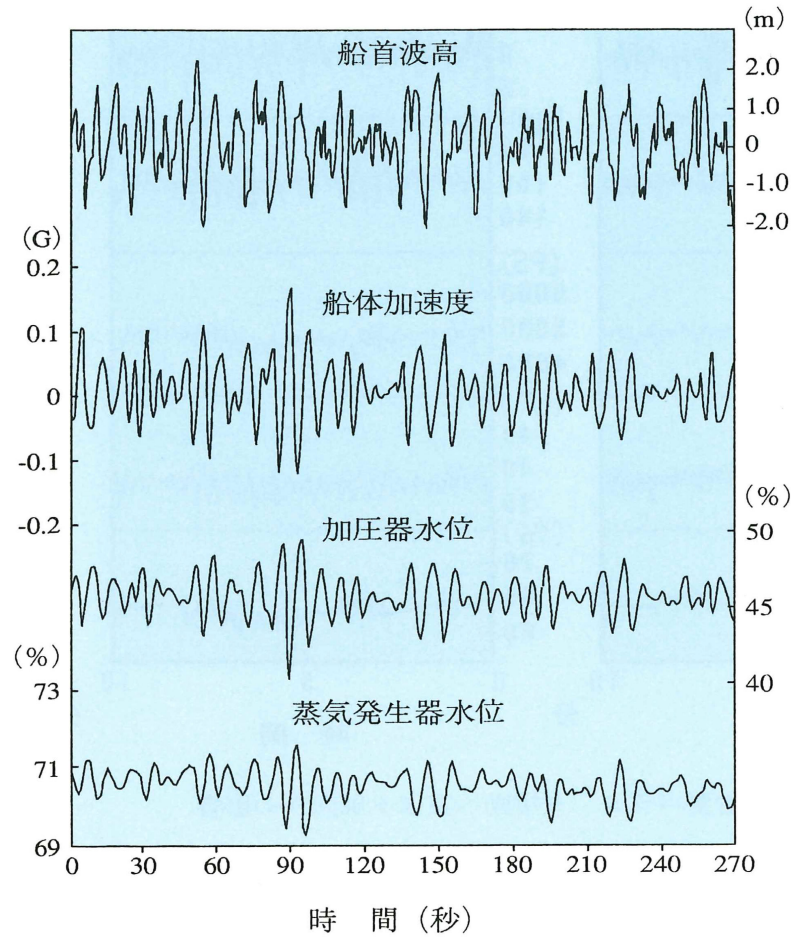
波浪の影響 ~波浪中航行時の負荷変動の例~



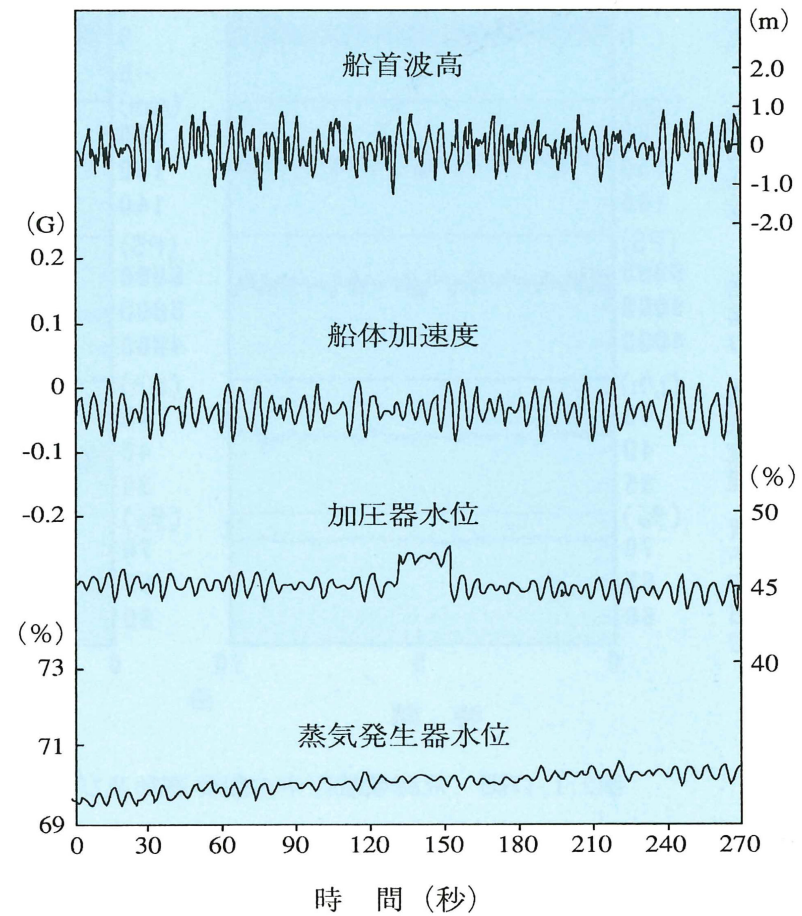
荒波域航海中の船体及び原子炉プラント主要パラメータ挙動
 へ及ぼす波の向きの影響
 (プロペラ回転数制御中)

波浪の影響 ～波浪中航行時の動揺及び原子炉プラント応答の例～

(炉出力70%、横波)
通常海域航行



(炉出力70%、横波)
静穏海域航行



横波航海中の加圧器及び蒸気発生器の水位変動

原子力船「むつ」の開発 – 実験航海の成果 –

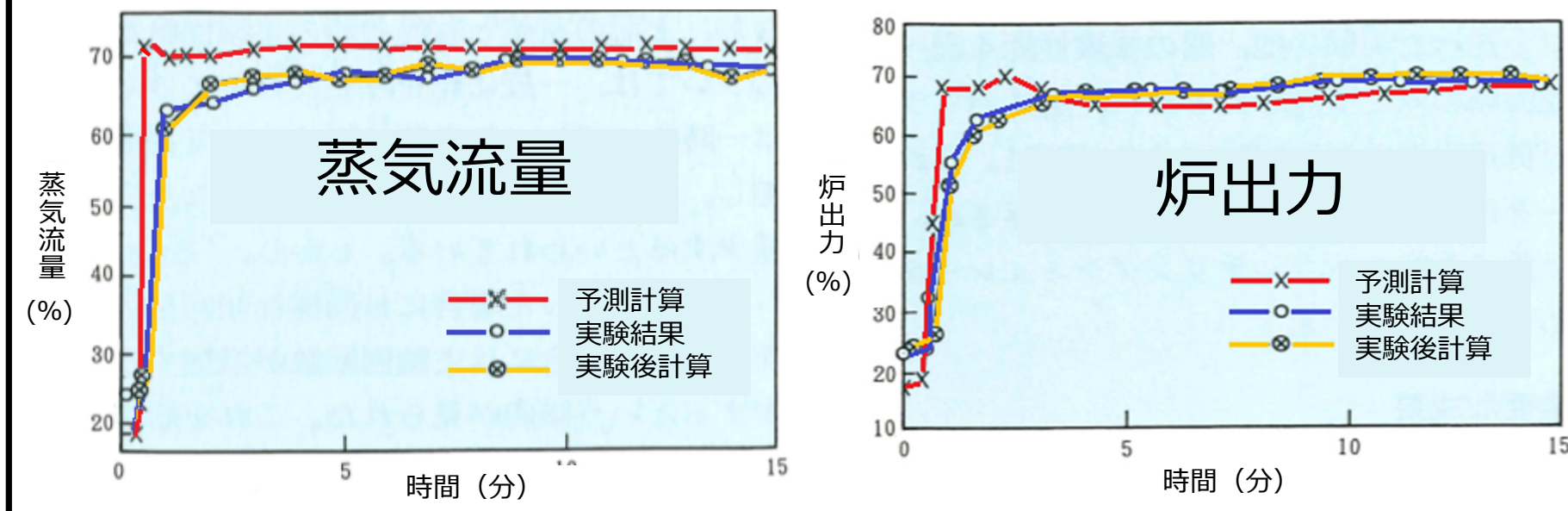
大負荷変動に対する追従性 ～急発進の場合～

- ▶ 操作 主機操作レバーを停止位置から速やかに炉出力70%相当位置へ
- ▶ 結果 設計時に想定された原子炉出力より穏やかな上昇。
一次系温度、蒸気発生水位等の降下は予想より小。

⇒設計時に簡略化した補助蒸気システムの応答性が原因と判明

試験計算結果と試験結果との比較（70%出力）

負荷増加試験時の原子炉プラント応答



1. ほぼ100%の国産技術による設計・建造・運航
2. 原子力が船舶の推進用エネルギー源としても適していることを実証
3. 原子炉プラントは、船舶の推進用機関として優秀であることを実証
4. 船体の動揺、傾斜等が原子炉プラントへ与える影響等のデータを取得
(測定項目：約150項目、データ個数：約200億個 (約40GB))
5. 離岸から接岸まで原子動力による安全な運航を実証

★技術的成果

1. 負荷の変動への対応 : 大きな負荷変動に対して安全・安定に追従 (自己制御性等)
2. 動揺・振動に対して : 厳しい海洋条件下でも安全・安定運転が可能
3. 原子炉の特性 : 予測計算値と良く整合 (予測計算プログラムの信頼性)
4. 放射線の遮へい : 自然環境の放射線と同じ (遮へいの性能)
5. 放射能の閉じ込め : 放射能漏れは無し (燃料体の健全性)
6. 船の推進性能 : 最大速力約18ノット (約33km/h)
7. 船の旋回性能 : 一回転約370m、出入港でも問題無し
8. 乗組員の養成 : 乗組員は延べ約400名
9. 作業量等の分析 : 次の原子力船への道

実験航海 船上の一コマ



航海中の制御室



太平洋を航行する「むつ」



制御室で測定結果を確認する乗組員たち

実験航海 船上の一コマ



第1次実験航海に向け
関根浜港出港する



南海の夕陽



第4次実験航海（荒海域）
北洋の荒海航海では30度近く傾く横揺れも経験した



船上訓練

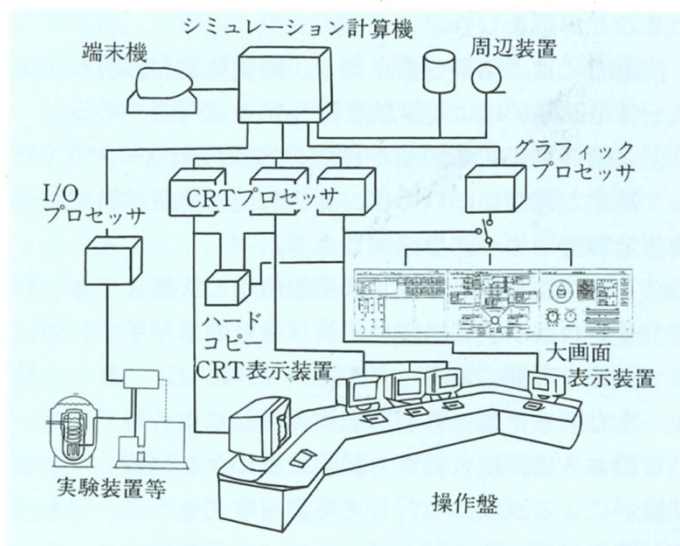
原子力船「むつ」成果の活用

●原子力船エンジニアリングシュミレーションシステムの開発整備（昭和62年～）

船用炉プラントの研究開発支援を目的とし、日本初、世界的にも例が無かった。

▶ 特徴 拡張性・柔軟性の高い以下の特徴を持つ

- 「海洋～船体運動～推進系～原子炉プラント」全体を一貫して模擬している
- 原子炉プラント操作及び操船を少人数で行える
- ハードウェアの変更無しに操作盤の内容変更が可能
- 利用者が結果やデータ等を分かりやすく編集表示できる
- リアルタイムシュミレーションを標準とし、目的に応じた速度変更が可能



シュミレーター構成の概念



シュミレーターの外観

原子力船「むつ」成果の活用

●新しい船舶用原子炉の研究開発

－ M R X 搭載 長距離大型高速コンテナ船 －

★**一体型PWR方式**

大口径配管破断事故原因を排除し、安全系簡素化と小型化を追求

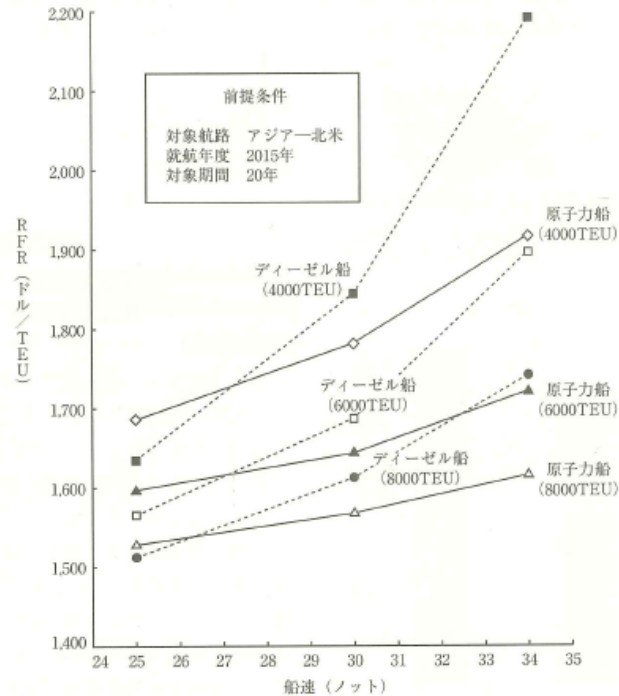
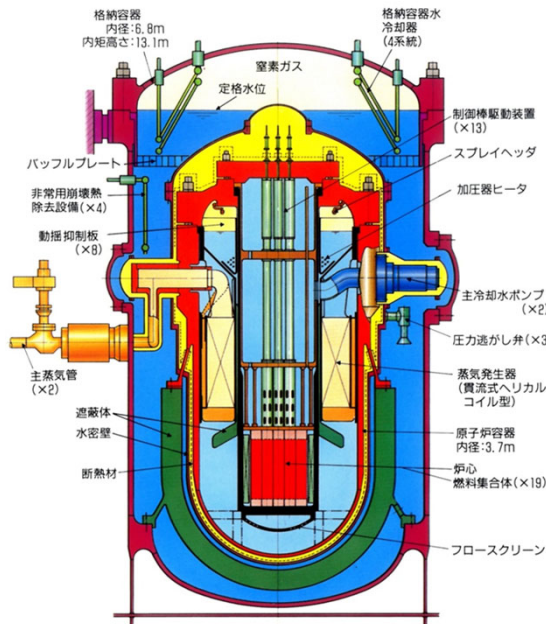
★**水張式格納容器**

水を充填した格納容器内に原子炉容器を設置する方式で、

受動的炉心、冠水維持並びに小型化を追求、特に遮へいの面で有利

★**自然環境による崩壊熱除去系**

安全系簡素化の追求



* 「TEU」とは長さ20フィートのコンテナ数に換算した個数



COCN※で検討している浮体式原子力発電

● 円筒形状の浮体構造物と原子力発電の組合せ (MIT, Golay教授考案)

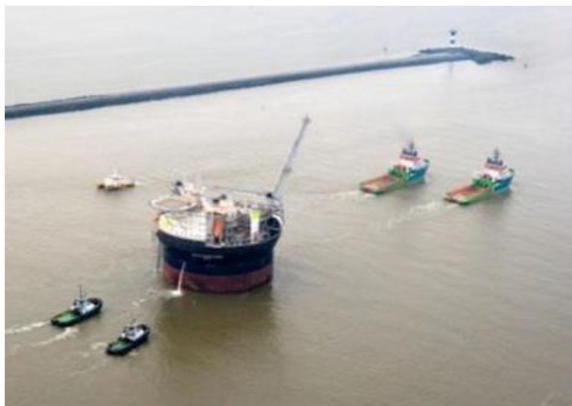
➤ 新しいプラットフォームの提案である

- BWR、PWR等の適用が考えられる
- 30~100万kWeの建造が考えられ、BWR (60万kWe) のレイアウトを検討中

➤ 浮体式原子力発電の特徴

- 津波・地震 (海震) の影響が小さい
- 周囲にある海水を動力源なしに崩壊熱除去のために利用できる
- 事故時の住民避難の負担を解消
- 集中した製造拠点 (造船所) で製造できるため、品質向上が図れる

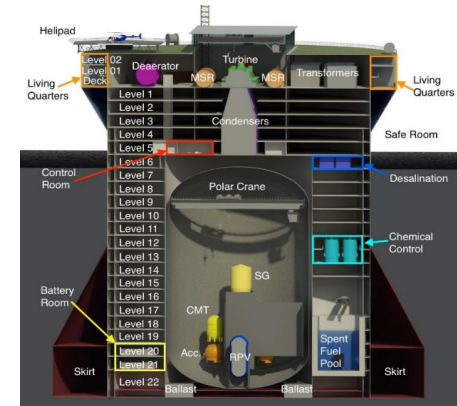
➤ COCNでは「むつ」の経験知見を共有するとともに、現地調査を実施



円筒形状の浮体構造物



原子力発電設備



浮体式原子力発電

Ref. IAEA Webinar Series on Nuclear Technology Breakthroughs for the 21st Century Part 4, Webinar3

※ COCN : 産業競争力懇談会の略

Ref. 東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所 サービスホール展示物

Ref. Nuc. Tec., 194, 1(2016).

COCNにおける検討内容（2021年度～2022年度）

2021年度	1F事故の教訓からの安全性向上策 事故時の原子炉減圧機能の多様化 事故時の原子炉水位計測の多様化	国際連携や国際的な規制に関する検討 国際連携の枠組み作りに向けた活動 ロンドン条約・議定書への対応（放射性廃棄物の扱い）	浮体式原子力発電関係の知見収集 浮体式原子力発電関連の知見収集 原子力船「むつ」他の文献調査
	2022年度		
技術的課題 浮体式原子力発電の安全設備 レイアウト(BWR)の検討 揺動関係 <small>(継続件名「揺動の原子炉への影響(BWR)」を含む)</small> 長期運用を考慮した浮体構造物の設計・保守 運用海域の選定 建造場所・技術、保守場所		制度的課題 必要な法整備の検討 運用方法	
その他 本PJの情報発信 浮体式原子力発電関連の知見収集		社会的課題 国際連携の枠組み作りに向けた活動 社会的受容性 むつの経験共有・現地調査 セキュリティ	

赤字：2022年度からの新規検討項目

- 2022年度からの新規検討項目9件について、検討を進めている。



ご清聴ありがとうございました。

