

原油随伴ガスから水素及び炭酸ガスを製造/出荷するFPSOの検討

(業界要望による共同研究)

2014年7月31日

一般財団法人 日本海事協会

千代田化工建設株式会社

三菱重工業株式会社

1. プロジェクト概要
2. トップサイド設備スタディー結果
3. 浮体構造・設備検討
4. まとめと今後の課題

1章目次

1. プロジェクト概要
 - 1-1 プロジェクトの背景
 - 1-2 本研究の目的と意義
 - 1-3 水素チェーンに置ける本研究の位置づけ
 - 1-4 FPSO全体ブロックフロー図

1-1 プロジェクトの背景

- アラビア湾には多くの海上油田があるが、大半は自然衰退に伴う2次・3次増進回収の段階であり、既に海水の注入(水攻法)を長年実施している。
- さらにフレアリングしていた随伴ガスを環境規制への対応と増進効果を見込んで再圧入している油田が多い。
- 近年、更なる増進回収の一つの方法として、随伴ガスよりより効率が高いとされる炭酸ガスを用いたCO₂-EORの実施が検討されている
- ただし、CO₂のソースは陸上の発電プラント等が中心となる為、海上油田の場合は、CO₂の確保が問題である
- そこで、圧入している随伴ガスを受け取り、スチームリフォーミングにより、炭酸ガスと水素に変換し、回収した炭酸ガスをEORに利用、一方、水素は液体に変換してケミカルタンカーで出荷するプロジェクトを提案。フィージビリティースタディーを実施することにした。

1-2 本研究の目的と意義

目的

- 本研究においては、石油随伴ガスから水素・炭酸ガスを製造し、水素をメチルシクロヘキサンに転換して貯蔵・出荷するFPSO設備の概念設計を行う。
- 対象となるプロセス設備をFPSOに搭載した前例は無いので、FPSOに適したコンパクトかつ動揺の影響を受けにくいプロセス・機器の選定を行い、安全かつ信頼性の高いシステムを構築する。
- 浮体に関しては、設置海域の条件を仮定した上で、係留方式を含めて最適なシステムの検討を行う。
- 概念設計に基づき、設備の安全性・信頼性の検証を行い、AIP認証の取得により、本コンセプトの妥当性を実証する。

意義

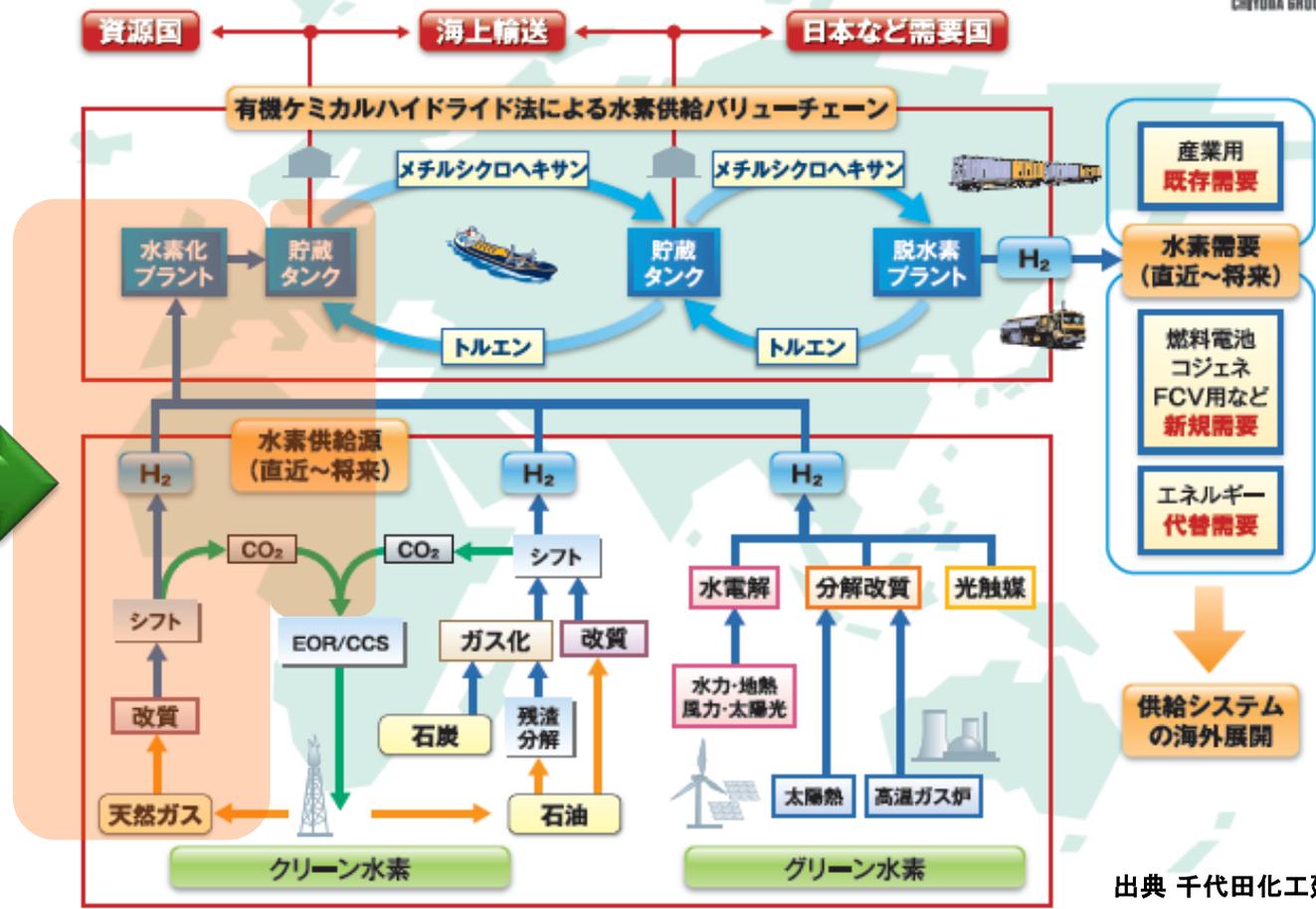
- 石油の増進回収を目的としたCO₂-EORは、CO₂の排出量の削減にも寄与するので、世界中で適用が検討されているが、オフショア油田の場合はCO₂の調達がネックとなり、まだ商業規模での応用例はない。海上にてCO₂を製造すれば新たな用途が創出できる。
- 一方、水素は、クリーンエネルギーとして今後、日本国内での需要が拡大する事が見込まれるので、製造段階においてCO₂の排出を抑制したクリーン水素の供給先を確保する事が今後ますます重要となる。
- このような新たな技術・新たなビジネスモデルを世界に先駆けて、日本企業が実現する事で、海洋資源の確保、海洋開発技術の蓄積につながり、世界をリードすることが可能となる。

1-3 水素チェーンにおける本研究の位置づけ



水素サプライチェーン構想

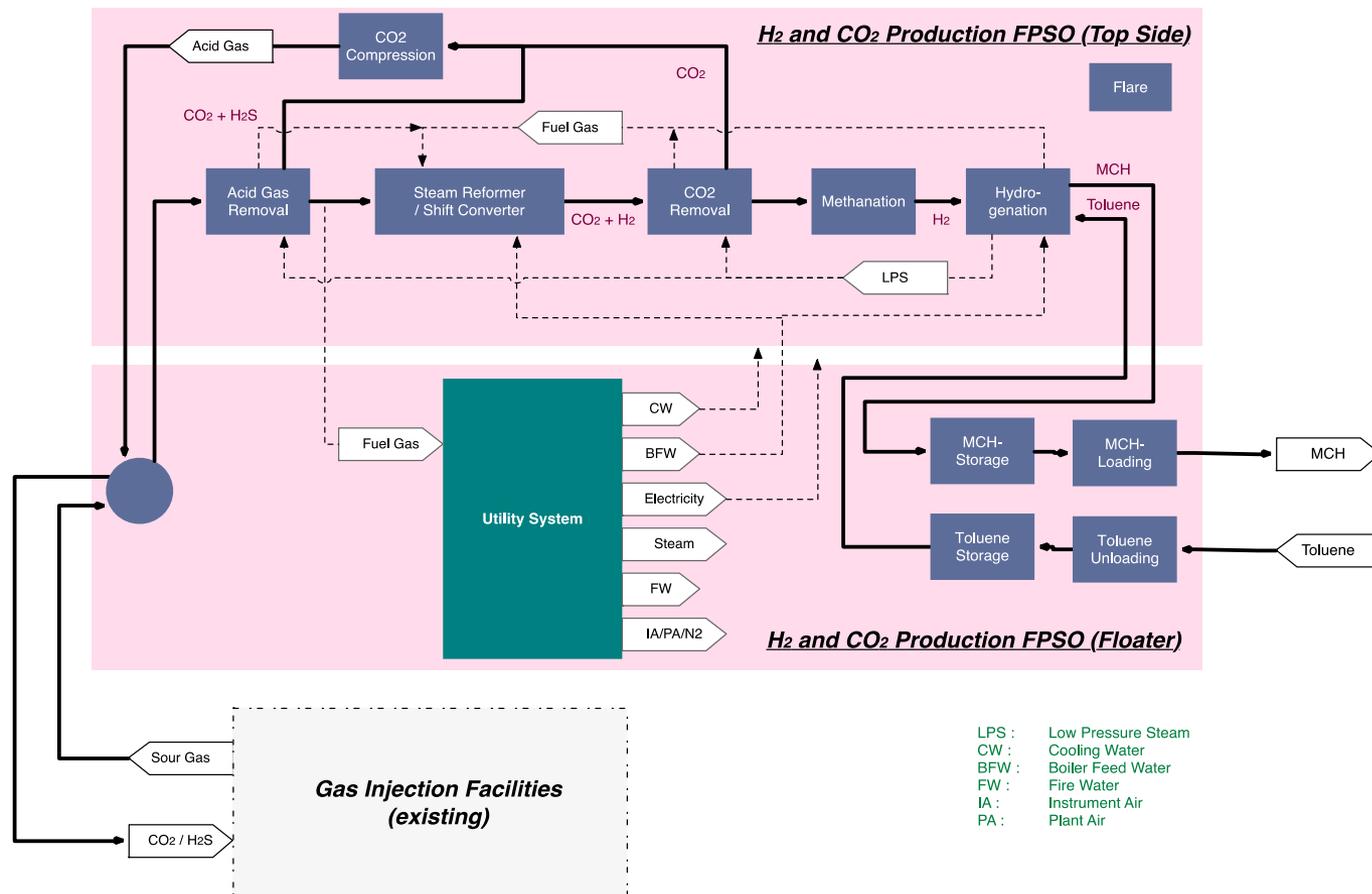
本研究の
対象範囲



出典 千代田化工建設株式会社

1-4 FPSO全体ブロックフロー図

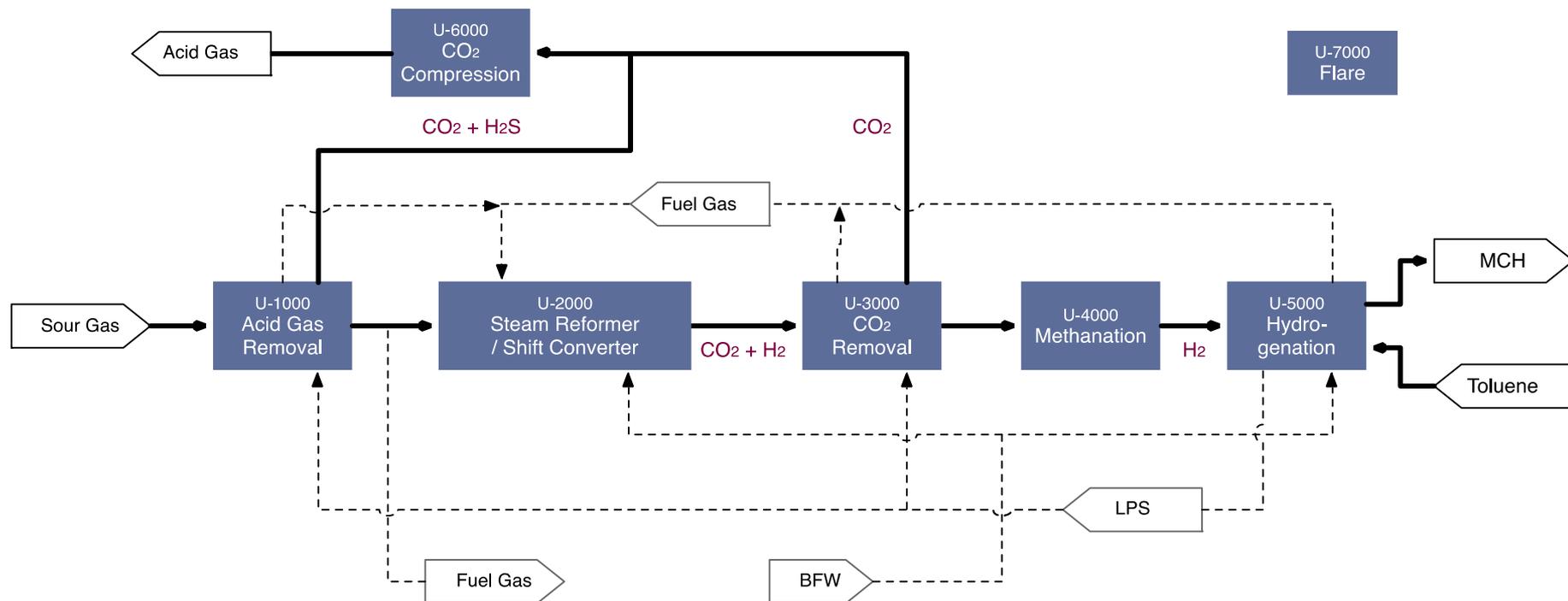
本研究で検討したFPSOは、既存設備で圧入している随伴ガスを受け取り、FPSO上にて炭酸ガスと水素に変換して、炭酸ガスを既存設備に戻し、EORに利用。一方、水素はメチルシクロヘキサンに転換してケミカルタンカーで出荷する設備である。プロセスプラントを搭載したトップサイドを千代田化工建設、ユーティリティー設備と原料(トルエン)、製品(メチルシクロヘキサン)貯蔵および入出荷設備を備えた浮体を三菱重工業が担当してスタディーを実施した。



2章目次

- 2. トップサイド設備スタディー結果
 - 2-1 炭酸ガス／水素製造プロセスのブロックフロー図
 - 2-2 マテリアルバランス
 - 2-3 トップサイドモジュール全体図(右舷側)
 - 2-4 トップサイドモジュール全体図(左舷側)
 - 2-5 ユニット配置図及び原料・製品フロー(ガス)
 - 2-6 ユニット配置図及び原料・製品フロー(液体)

2-1 炭酸ガス/水素製造プロセスのブロックフロー図



U-1000 (酸性ガス除去設備): フィードガス中に含まれる $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ をアミン水溶液を使用して吸収・分離する

U-2000 (スチームリフォーマ・シフトコンバータ): メタン・エタン等の炭化水素をスチームと触媒反応させて、 CO と H_2 に転換する。さらに CO をスチームと反応させて CO_2 に変換する

U-3000 (炭酸ガス除去設備): CO_2 をアミン水溶液で吸収して、水素と分離する

U-4000 (メタネーション設備): 未反応の CO や、分離出来なかった CO_2 を触媒反応でメタン(CH_4)に変換する

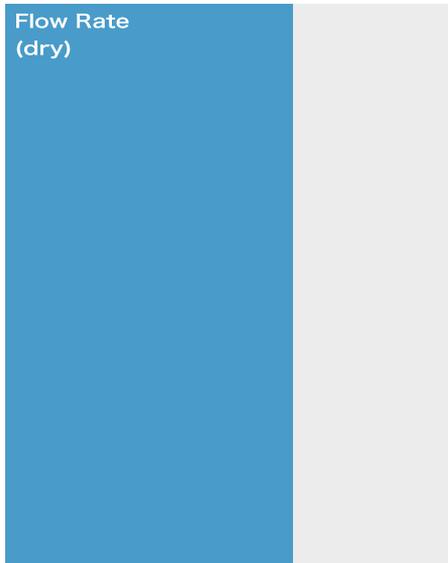
U-5000 (トルエン水素化設備): 水素とトルエンを触媒反応させて、メチロシクロヘキサンを製造する

U-6000 (酸性ガスコンプレッサー): U-1000/U-3000で分離した、 $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ をコンプレッサーで圧縮し、既存の石油生産設備に送出する

U-7000 (フレア設備): スタートアップ時や非常時に放出される可燃性ガスを安全に焼却処分する設備

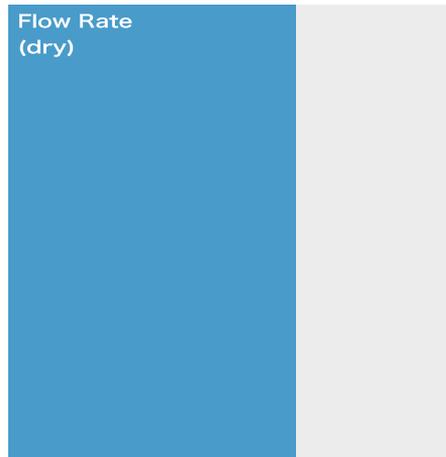
2-2 マテリアルバランス

Flow Rate
(dry)



製品水素 約50,000
Nm³/h生産するのに必要な
ガス量
23 MMSCFDを原料ガス量と
し、プロセスシミュレーションを実
施した。

Flow Rate
(dry)



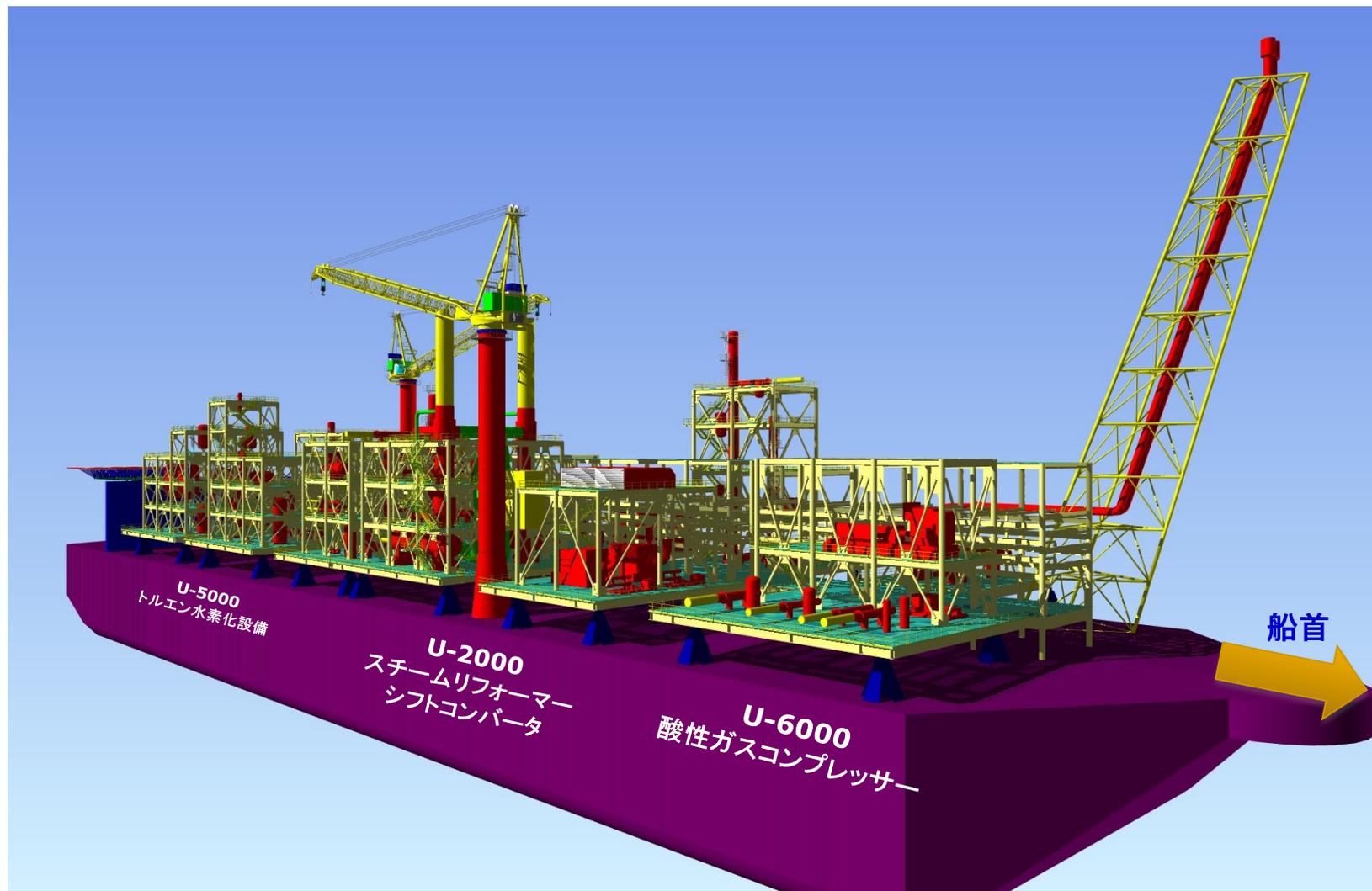
H₂/CO₂ Production Plant

酸性ガスを除去した後、一部を
燃料ガスとしてFPSOのユーティ
リティー製造に使用。残りを製品
原料として使用する。燃焼排ガ
ス中のCO₂は回収していない

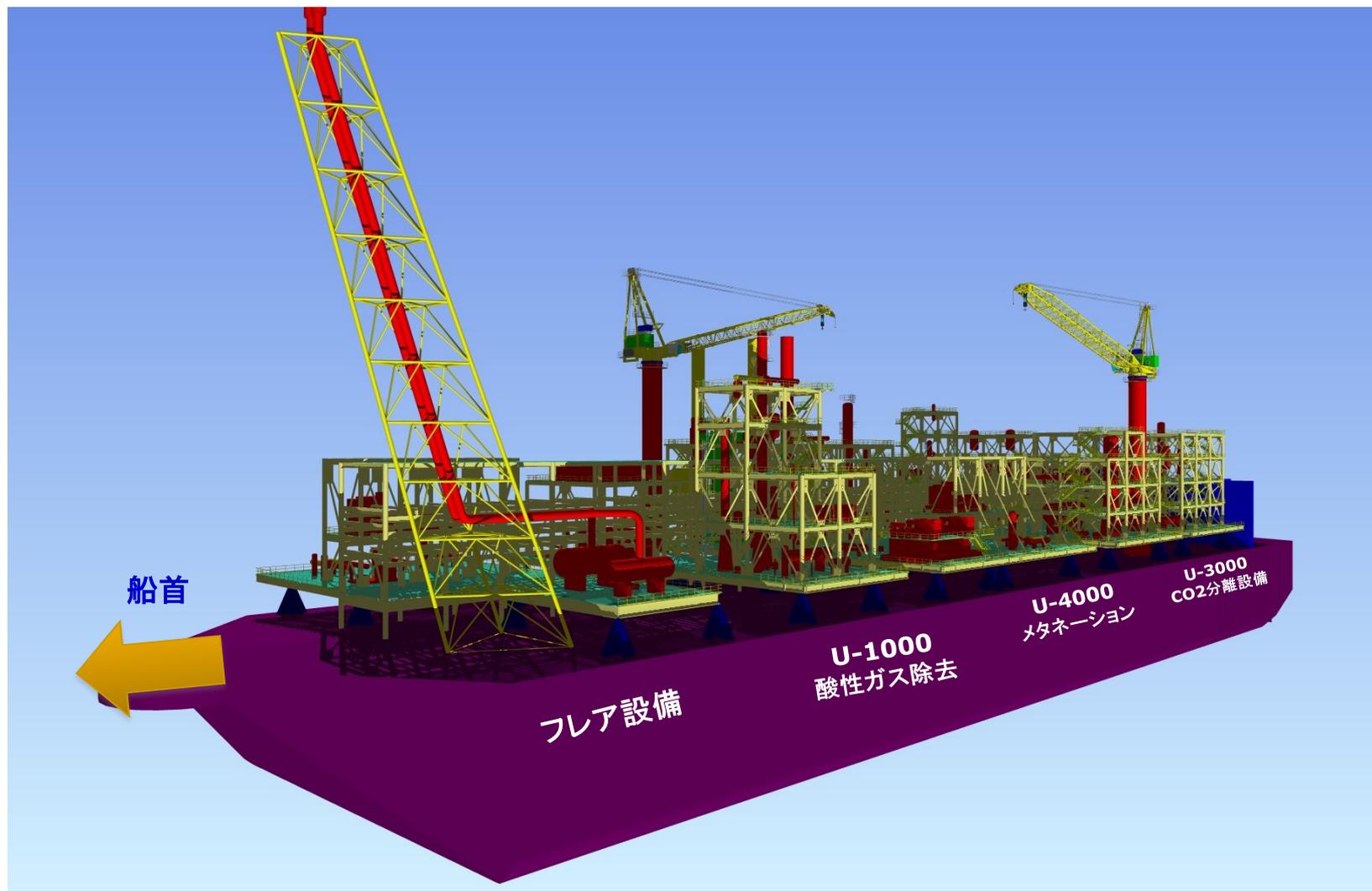
Flow Rate
(H₂)



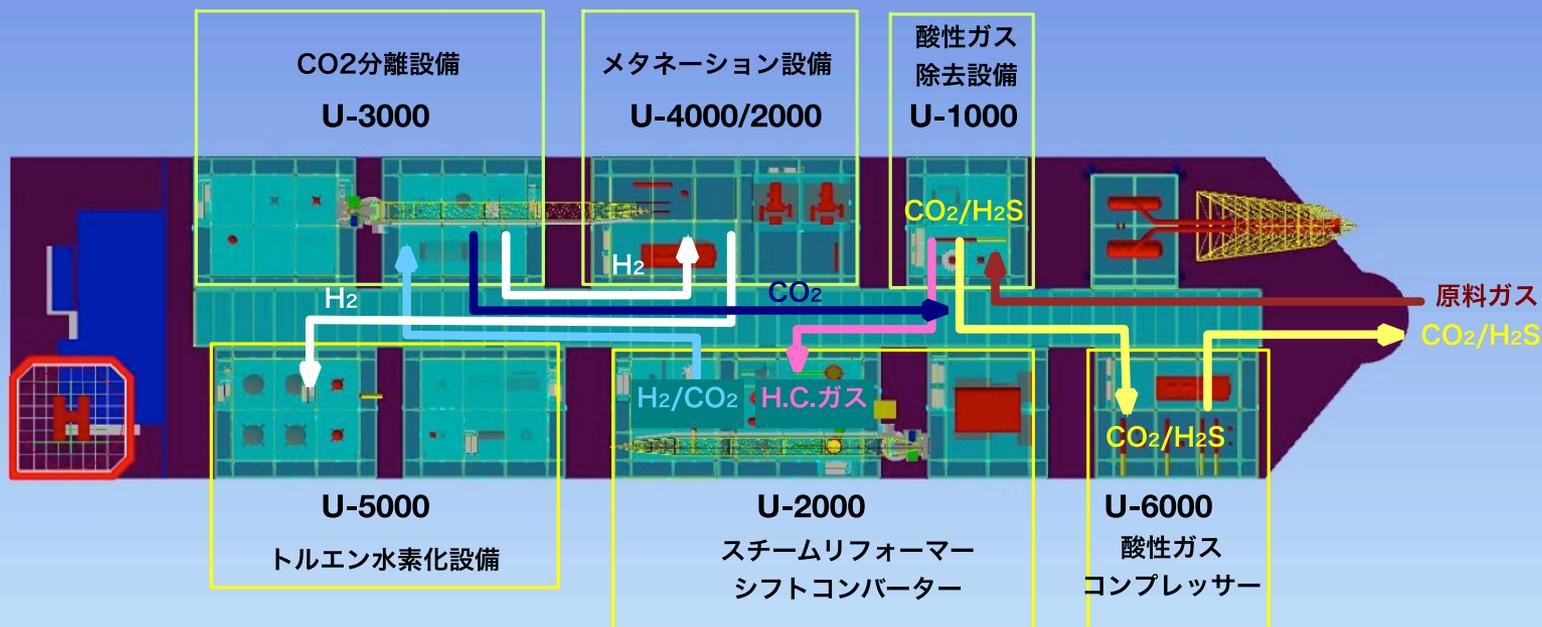
2-3 トップサイドモジュール全体図(右舷側)



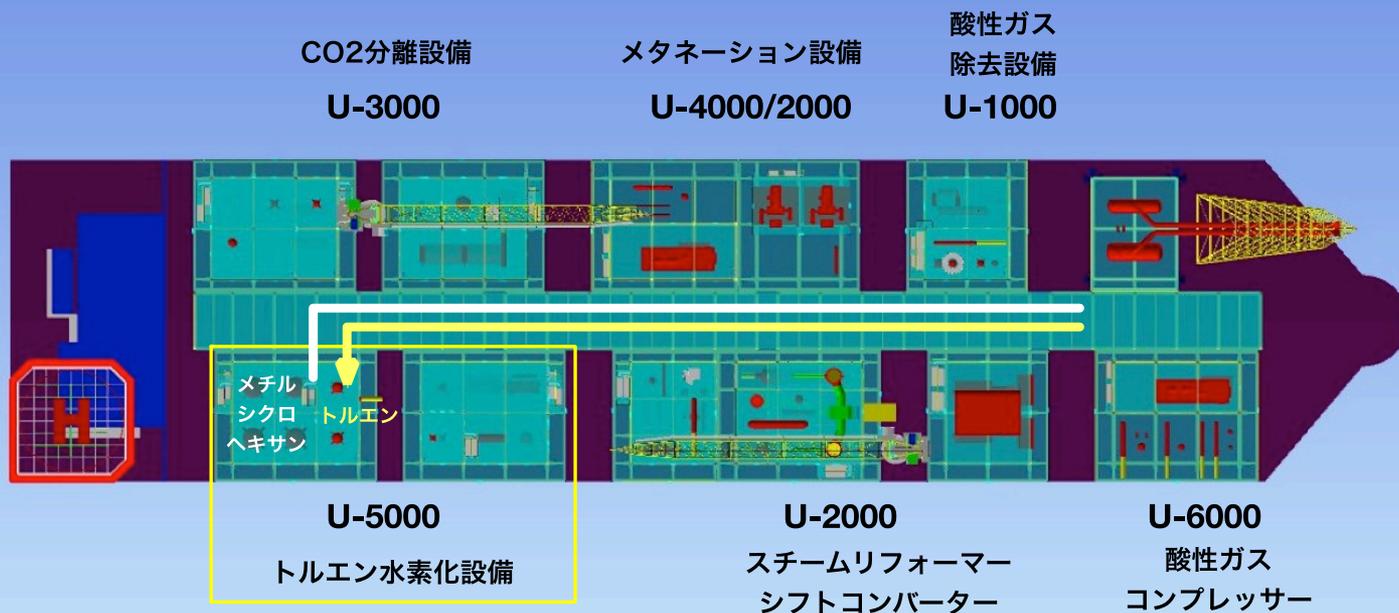
2-4 トップサイドモジュール全体図(左舷側)



2-5 ユニット配置図及び原料・製品フロー(ガス)



2-6 ユニット配置図及び原料・製品フロー(液体)



3. 浮体構造・設備検討

3-1 はじめに

3-2 浮体計画

①主寸法

3-3 配置検討結果

①一般配置

a) 着底式 b) 棧橋式 c) ターレット式

②機関室配置

a) 浮体内設置ユーティリティ装置

b) 後方機関室/前方機関室

3章目次

3-4 基本計画

①インタクトスタビリティ

②ダメージスタビリティ

3-5 安全性・信頼性の検証

3-6 まとめ

3-1 はじめに

本試験研究の目標

水素輸送とCO₂再利用を目的とした世界初FPSOの基本計画
完了とAIP証書取得

< 浮体設計における >
新規性と課題

< 本研究での主な取組み >

- ① 世界初のFPSOコンセプト → 適用ルール/要件の確認
- ② 浅水域での設置 → 係留シミュレーションを実施し
3方式提案
- ③ 多種多様なガス/液体
のハンドリング・貯蔵・
受入/払出 → HAZIDを実施し安全性・信頼性
を確保した配置及び設備計画

➡ NK殿/千代田化工建設殿と連携し信頼性の高い浮体を開発

適用ルール/要件

船級符号

NS* (Floating Offshore Facility for Hydro-carbon Production, Storage and Offloading, Ship Type, Submersible FPSO) (DSA)

適用ルール/規則

- (1) International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)
- (2) 1981, 1983, 1989, 1990, 1992 and 1994 Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974
- (3) The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78) (Annex I, II, IV, V & VI)
- (4) International Tele-Communication Convention (Nairobi, 1982) and radio regulation (Edition of 1982 and Amendments 1987)
- (5) International Convention on Load Lines, 1966 as amended by the Protocol of 1988
- (6) International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk

3-2 浮体計画

①主寸法

19

設計条件

トップサイドの大きさ: 229.5 m (L) × 70.0 m (B)

貨物容積: 112,000 m³

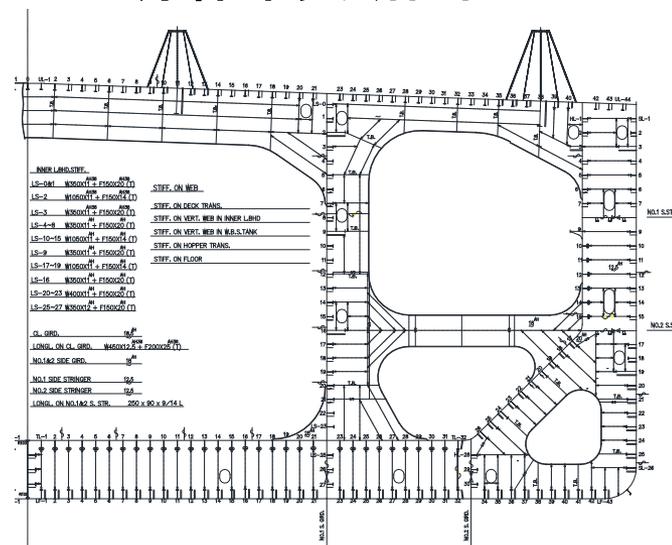
水深: 18 m

浮体貯蔵貨物: トルエン、メチルシクロヘキサン (MCH)

受入/払出量: 56,000 m³

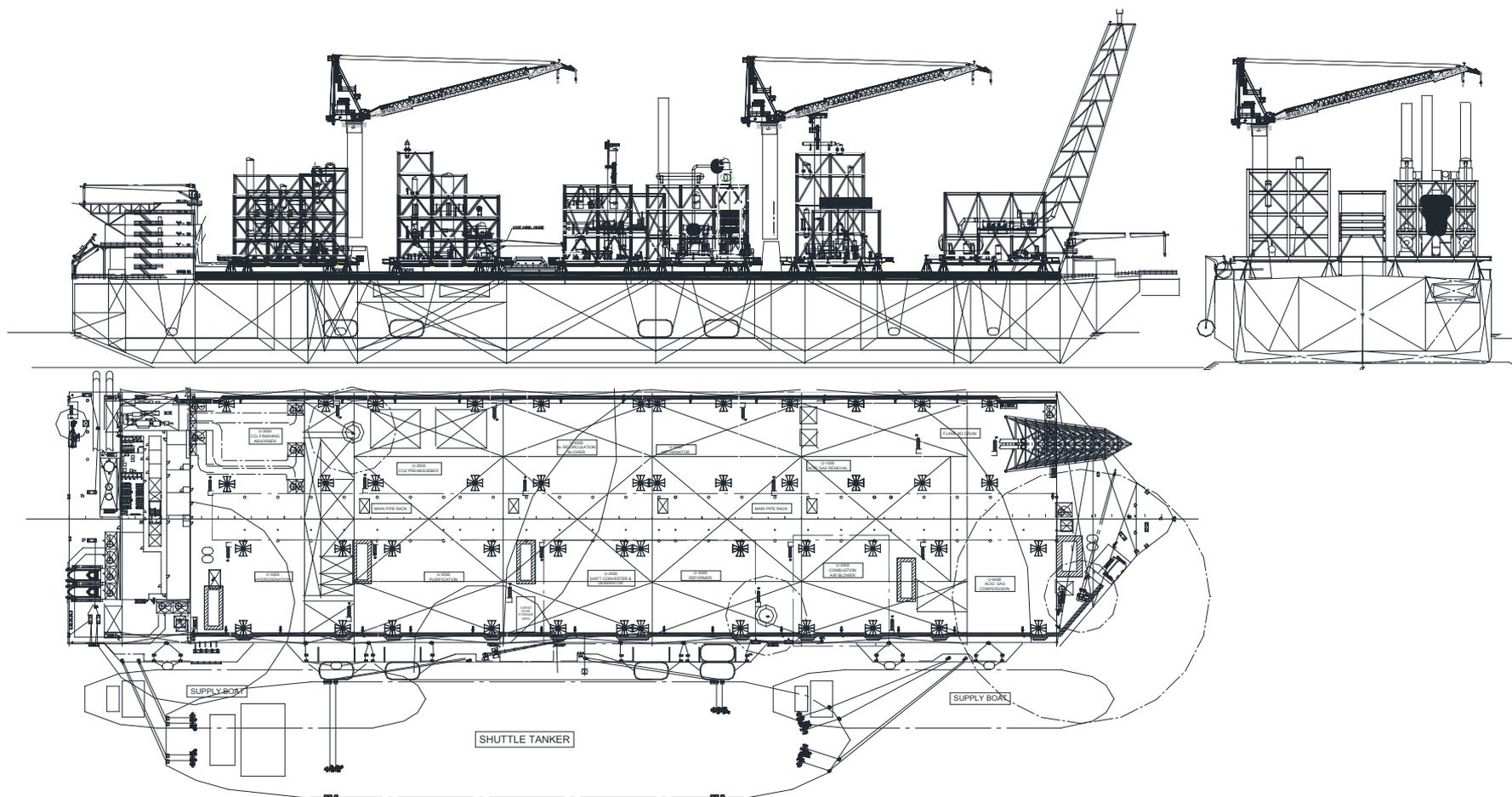


<浮体中央断面図>



L_{oa} / L_{pp}	abt. 300.0 m / abt. 275.2 m
B_{mld}	70.0 m
D_{mld}	23.0 m
$d_{designed}$	abt. 8.0 m
Cargo Tank 容積	28,000 m ³ × 4 tanks
D/W	abt. 77,700 t
自航能力	無し

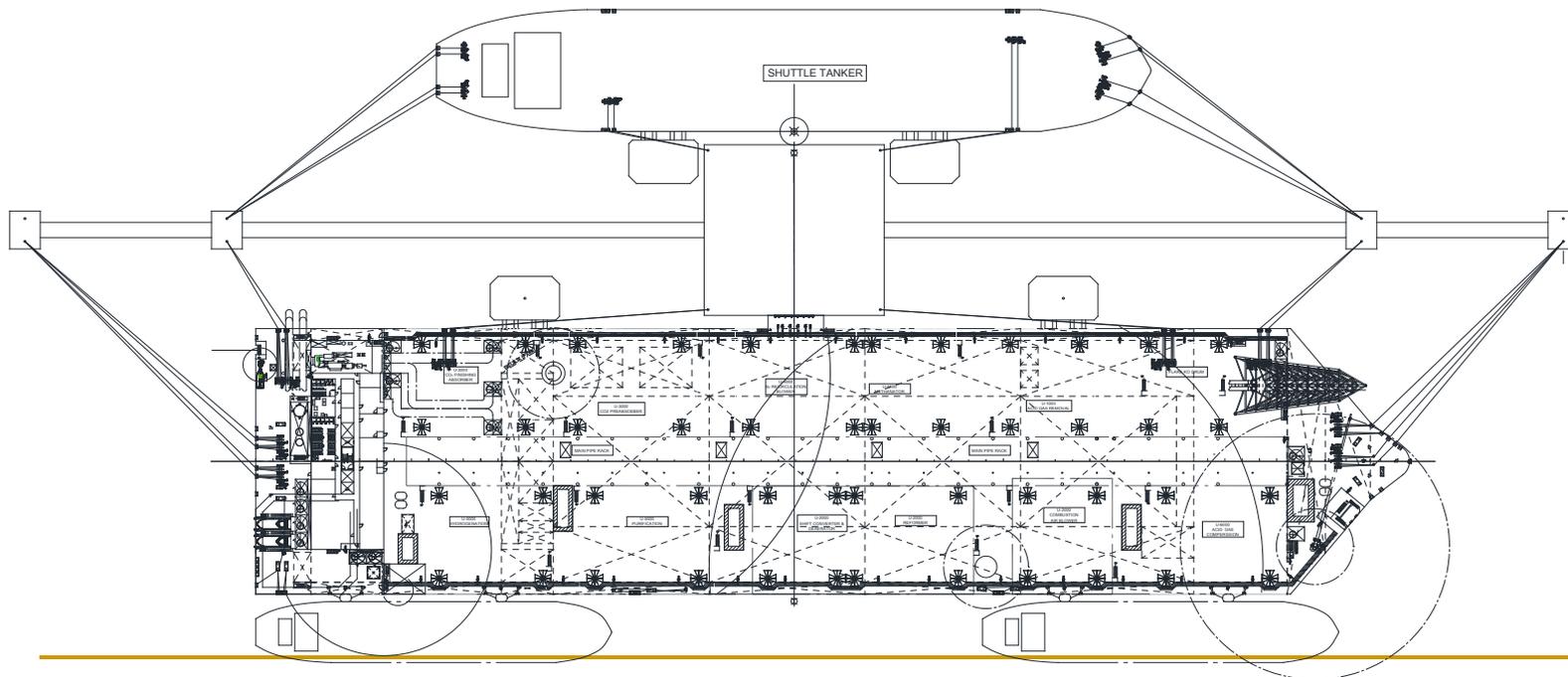
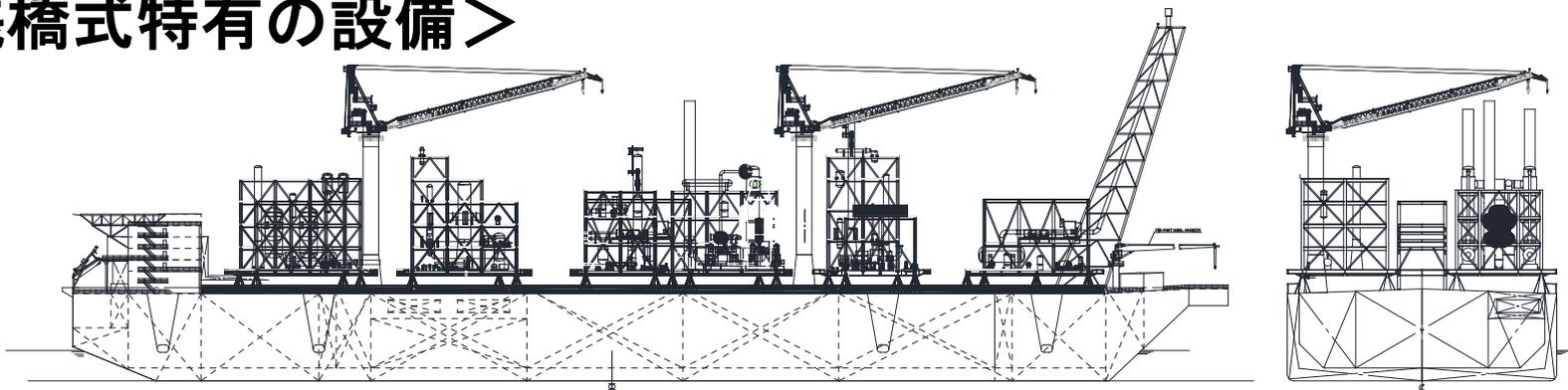
＜着底式特有の設備＞



3-3 配置検討結果

①一般配置 b) 棧橋式

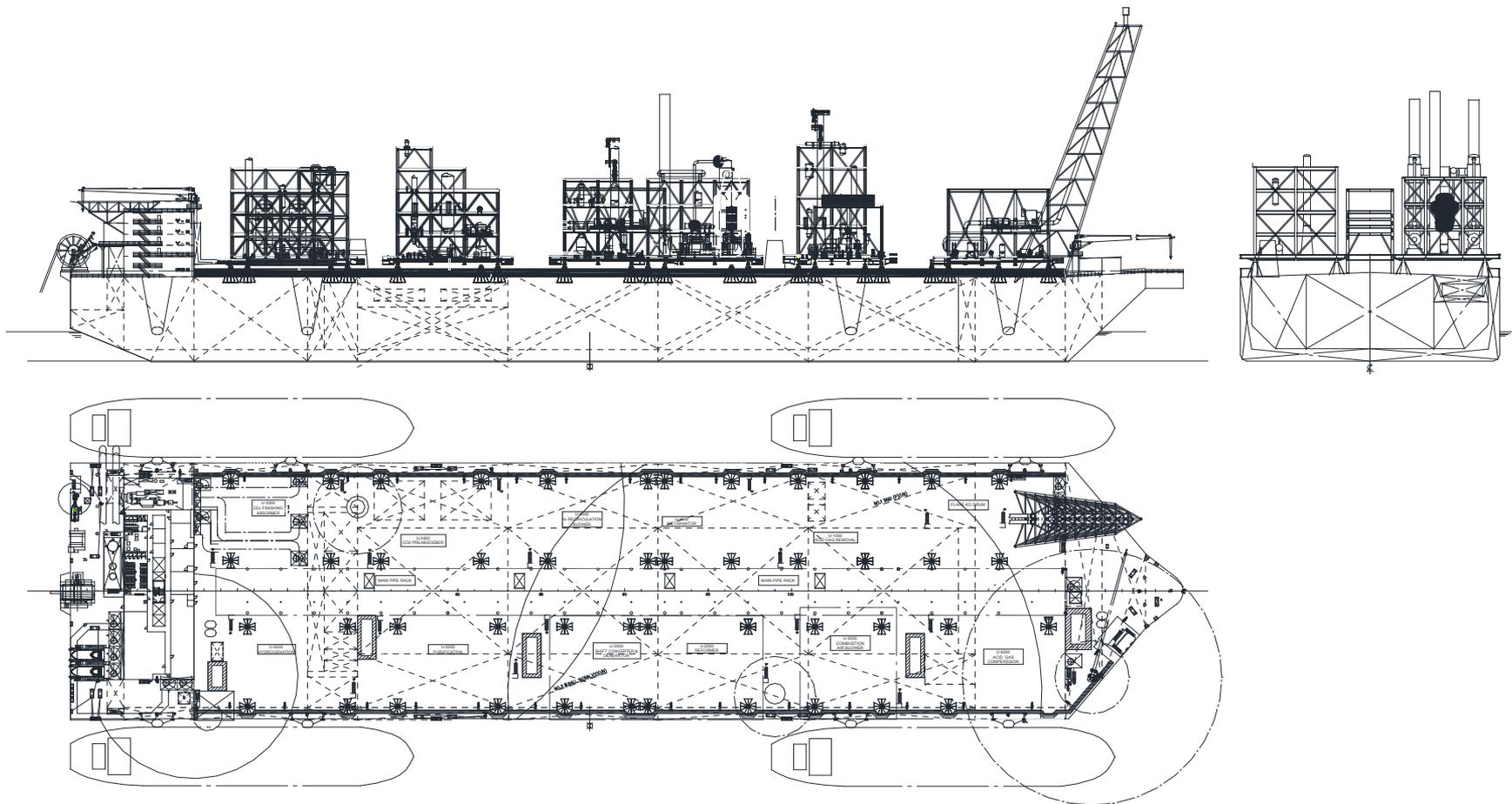
< 棧橋式特有の設備 >



3-3 配置検討結果

①一般配置 c)ターレット式²²

＜ターレット式特有の設備＞

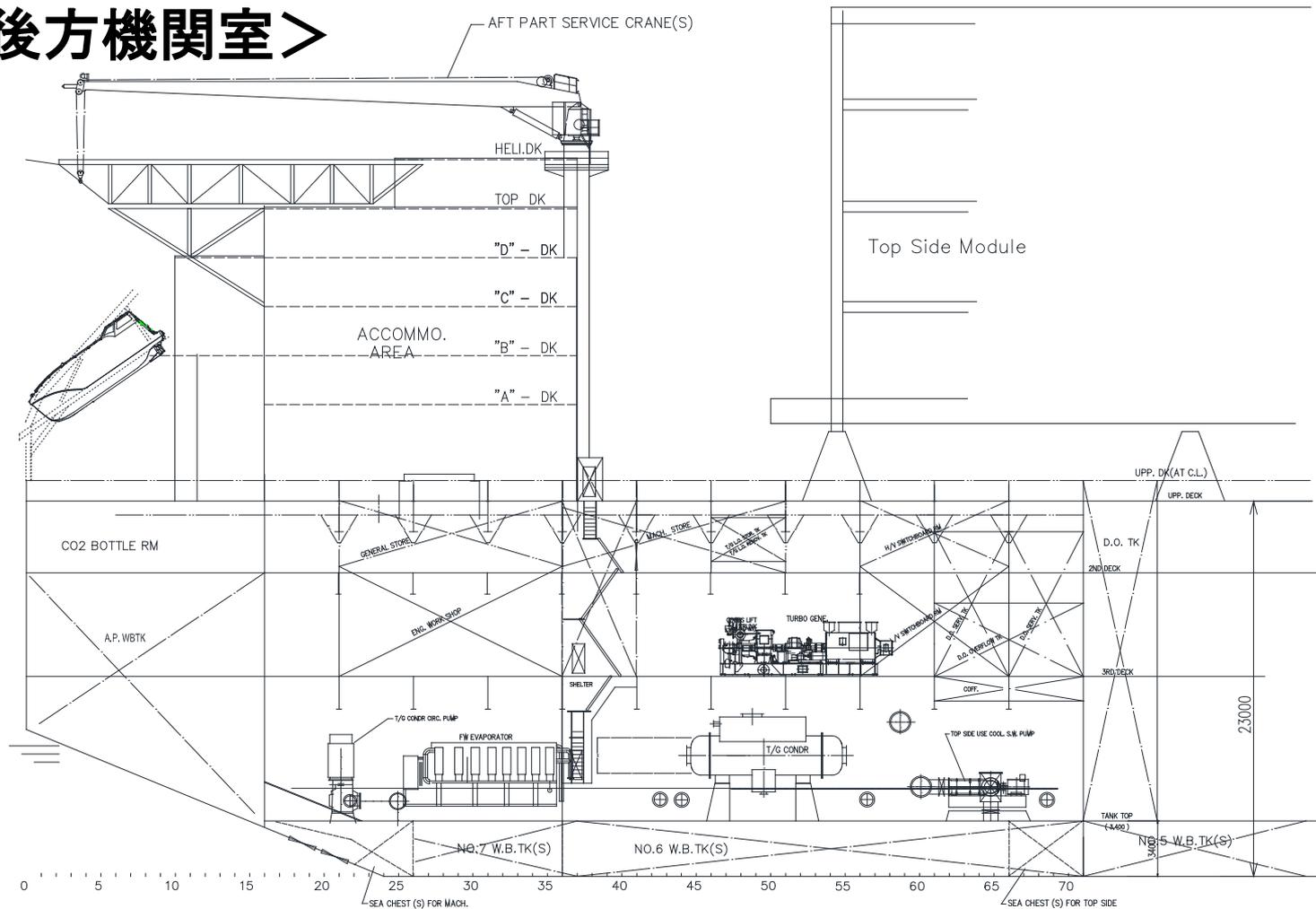


<浮体設置ユーティリティ装置>

項目	機器	容量	設置場所
蒸気発生装置	ボイラー(水管式)	50 t/h × 2sets	後方機関室
発電機	タービン発電機	10,000 kW × 2sets	後方機関室
	補助ディーゼル発電機	3,500 kW × 2sets	前方機関室
	非常用発電機	2,000 kW × 1set	非常用発電機室
トップサイド冷却水	清水ポンプ	5,000 m ³ /h × 2sets	後方機関室
	海水ポンプ	5,000 m ³ /h × 2sets	後方機関室
	清水/海水熱交換器	2,500 m ³ /h × 2sets	後方機関室
造水装置		25 m ³ /h × 2sets	後方機関室

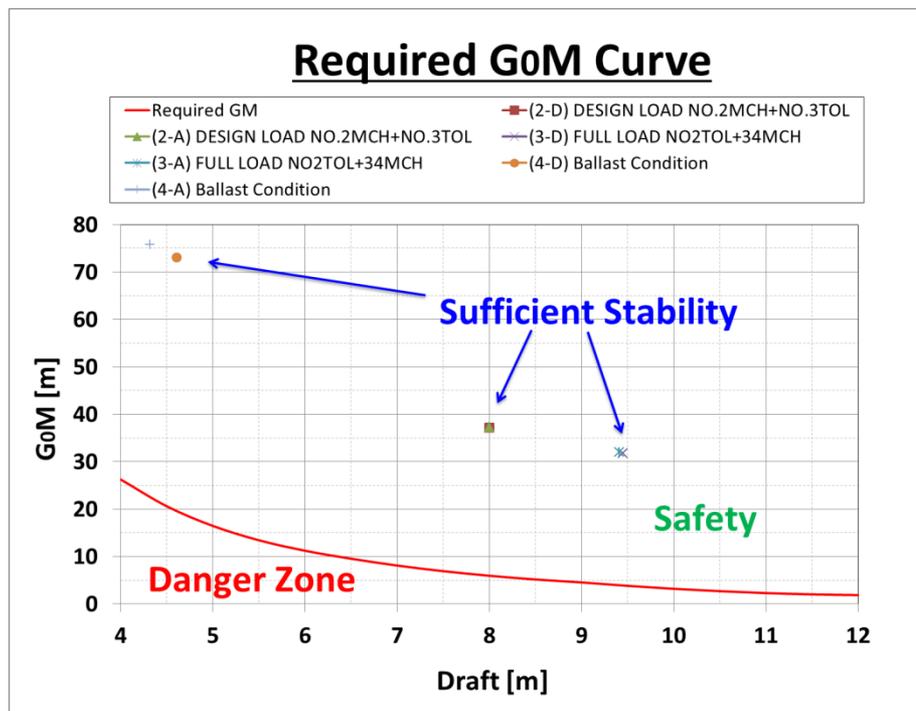
3-3 配置検討結果

<後方機関室>



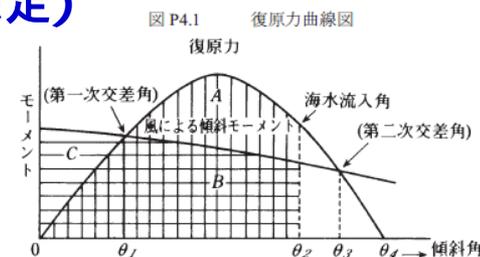
① インタクトスタビリティ

鋼船規則PS編の要求を満足することを確認



<要求のひとつ>

あらゆる水平方向からの風による傾斜モーメント及び船舶の波による動揺に対して、十分な復原性を有する
(風速100knを想定)



$$(A + B) \geq 1.4 (B + C)$$

B = 70mにより十分なGMが確保されている

②ダメージスタビリティ

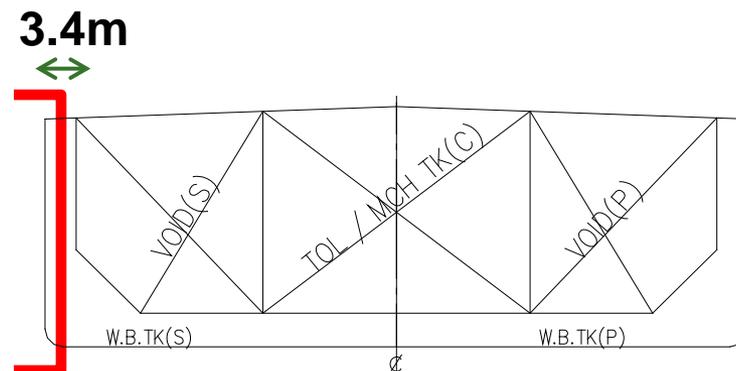
鋼船規則PS編のルール要求成立性を確認

<船側の損傷範囲>

- 幅方向(水平方向)...1.5m
- 長手方向...3.0m
- 深さ方向...制限なし



損傷区画はBallast tank および
浮体前方にあるForward void のみ



ルール要求を満足

3-4 基本計画

②ダメージスタビリティ Side Damageにつき

鋼船規則S編のルール要求成立性を確認 (IBC Code 準拠)

＜船側の損傷範囲＞

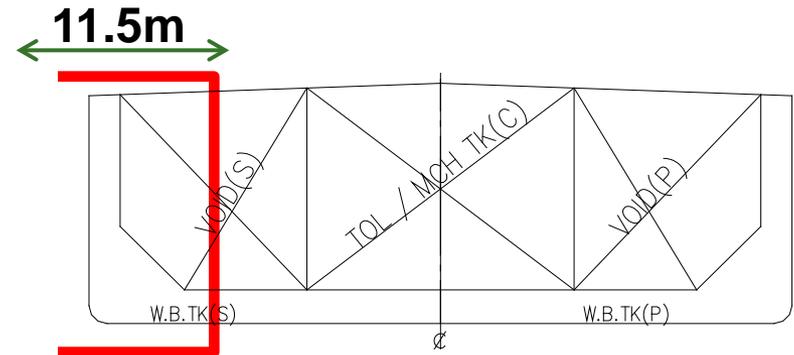
幅方向(水平方向)...11.5m

長手方向 ...14.2m

深さ方向 ...制限なし



PS編の損傷範囲に**VOID**区画
及び**E/R**が追加



ルール要求を満足

3-5 安全性・信頼性の検証

リスクアセスメントを実施

82件のHAZARDについて検証

<HAZID WORKSHEETサンプル>

ID	Scope	Sub-scope	Type of Mooring	Hazard	Cause	Existing safeguard	Recommendation	Actionee	Discussion
Sec.I: Items extracted through consideration of area									
General layout									
001	Escape	All	All	緊急時避難困難、不可能状態	脱出経路の不足、ライフボート、ラフトへの接近経路不足、マスターステーション、一時避難場所 (TR)	<p>現状の対策</p> <ul style="list-style-type: none"> 左右舷からのアクセスは2系統以上ある。 エスケープは両舷のUPDK上に設置。 上記エスケープはハンチングメタルの壁と放水設備で安全性を高めている。 作業員はガスマスクとガス検知器を携行している。警報が鳴ったら直ちに装着する。 検知器は毒ガス用と可燃ガス用の両方を装備している。 	<p>HAZIDによりでてきた推奨</p> <ol style="list-style-type: none"> 施設内人数を考慮してMASTER ST.の配置及び面積を再考 (A) H2Sや可燃性ガスが居住区に流れる可能性があるため、漏洩ガスの拡散studyを行って安全性を確認 (B) 毒ガスと可燃性ガス用のマスクを適切な位置に設置することを検討 (B) ジェットファイアの脱出ルートへの干渉の可能性を考慮、プラント及び配管配置を考慮する (B) 	<ol style="list-style-type: none"> MHI CYD/MHI CYD/MHI CYD 	<ul style="list-style-type: none"> 爆風対策もある程度されている。 トップサイドのメンテナンスが5名程度を想定+係船要員のことも考慮。 MASTER ST.の面積は人数100人に対して十分か。再検討が必要。 一時避難場所があるか？ただし、そこにH2Sが滞留していたら危険である。 洋上プラント内には、複数のシェルターが用意されており、警報が鳴ったら風直角方向に避難する訓練をしている。 原料ガス内にH2Sが12%含まれる。12%は猛毒の量。 船首に近い場所(Unit1000/6000)でH2Sを取り扱っている。ターレット方式では、風下側に居住区がきてしまうので危険では？ 風下側には可燃性気体も流れる可能性がある。 ガス検知器は、漏洩する可能性のある場所に重点的に配備。 H2Sガスが含まれるシステムをコンパクトにまとめる設計思想。 正しい方向に逃げると言うのが基本。作業員は風と直角に走らせる。(吹き流して風向きを確認し、風向きと直角方向へ逃げる。) おもてで有毒ガスを扱っているが、そこにポートもある。漏洩が起きた場合にはどの様に対処するのか？ H2Sガスが漏洩したら、まずは原因追及に作業員が向かうのが前提。完全装備でない作業員は一旦退避する。 CRや居住区に自呼吸形マスクを多数用意している。 漏洩をシャットアウトする装置はあるのか？自動シャットダウン装置はない。ただし、火災の場合には自動シャットダウン機能がある。有毒ガスは手動で対処する設計。



**Recommendation 38件 に対して 27件の対策を
基本計画に織り込みAIP取得(残りは詳細設計対応事項)**

- トップサイドプラントとの整合の元、浮体基本設計(配置構造、ユーティリティー設備、貯蔵・受入・払出設備、係船設備等)を完了
- 基本設計をベースにHAZIDを行い、推奨された改善事項に対する対策を反映
- 設備の安全性・信頼性を確保し、**AIP**を取得



実商談への準備が完了

4章 まとめ及び今後の課題

- 本研究では、海上石油生産設備で、再圧入されている随伴ガスを利用して、炭酸ガスと水素を製造し、炭酸ガスをEOR(石油増進回収)用に利用、水素をメチルシクロヘキサンに変換して出荷するFPSO設備の検討を行った。
- 仮定した原料ガス条件から、プロセスシミュレーションに基づき、ヒート&マテリアルバランスを作成。ユーティリティー消費量も算出して、必要なユニット及びキャパシティーを決定した。
- プロセス選定、動揺への対処、モジュール化等に、FPSO固有の条件を考慮して、トップサイド設備の概念設計を行った。
- 浮体に関しては、トップサイドプラントとの整合の元、基本設計(構造配置、ユーティリティー設備、貯蔵・受入・払出設備、係船設備等)を完了した。
- 設計結果に基づき、HAZIDスタディーを実施し、NK殿より推奨された改善事項に対する対策を反映して、当該設備の安全性・信頼性を確保し、AIPを取得した。
- 現段階では、設置海域や原料ガス条件、プラントキャパシティー等、未確定要素が多いので、仮定のもとにスタディーを実施した。今後、プロジェクトが具体化した段階で、より詳細な設計、最適化等を行い、プロジェクト経済性の検討を行うことが必要である。また、CO₂ EORの効果を具体的な油田でスタディーして、プロジェクトの有用性を証明することが必要であろう。

最後に

本研究開発は、日本海事協会、千代田化工建設株式会社、三菱重工業株式会社の共同研究体制のもと、研究を実施しているもので、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームによる研究支援を受けてます。

ここに関係者への謝意を表します。