

原子力（核融合）船

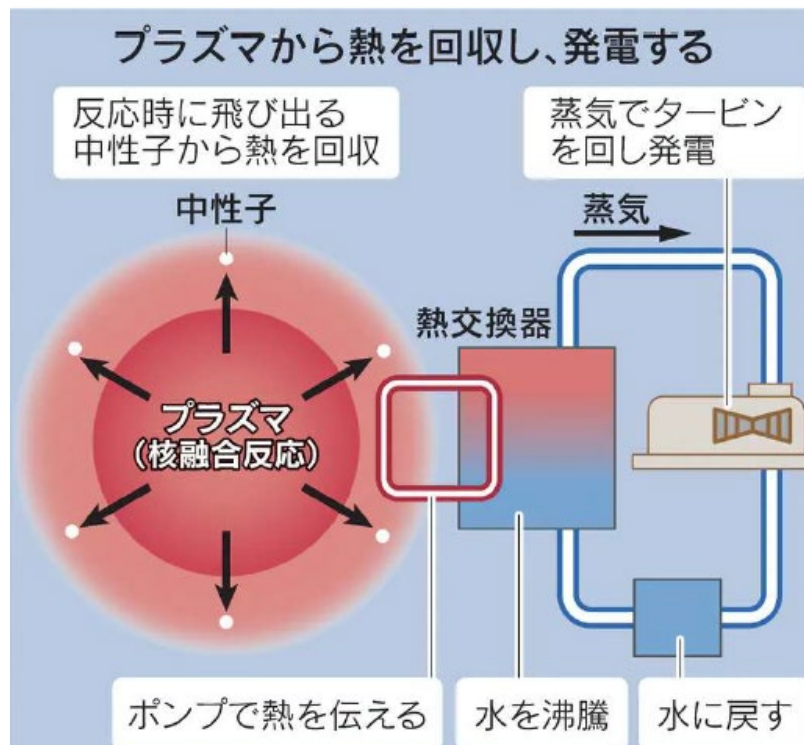
海友フォーラム 2022年度 第一回懇談会で講演（4/4）

並川俊一郎, NAVIKA Consulting 代表
15 September, 2022



本題に入る前に、核融合とは

(2022年4月2日日経新聞++)



重水素と三重水素が合体し、高いエネルギーを持ったヘリウムと中性子を生成、すなわち $E = mc^2$ の自然界での実証

核融合は安全性で優れる

原子力発電 核分裂の連鎖反応

長所

安定して発電でき
CO₂を出さない

課題・短所

事故発生時の
被害が甚大

核融合発電 燃料不足になると止まる

安定して発電でき
CO₂を出さない

「核のごみ」を出さず、
重大事故リスクが
低い

技術や資金が
壁で実用化に
時間がかかる

- ・ プラズマ閉じ込めによる長時間燃焼 (現状 max 100 - 400 秒)
- ・ 加熱入力 < 核融合出力



DNV TECHNOLOGY PROGRESS REPORT

June 2021

以下Courtesy of DNV
発表者による翻訳



	Foreword	2
	Introduction	4
1	Floating wind 洋上浮体風力発電	10
2	Developments in solar PV 太陽電池	14
3	Waste to fuel and feedstock	18
4	Pipelines for low-carbon gases	24
	Energy infrastructure and nano materials	28
5	Meshed HVDC grids	32
6	New battery technology 蓄電池	36
7	Novel shipping technologies 船舶革新技術	40
	Marine Fuel cells 船用燃料電池	40
	Nuclear-powered ships 原子力船	44
8	EVs and grid integration	50
9	Green hydrogen production	56
10	Carbon Capture and Storage 2.0	62
	References 二酸化炭素回収と貯留 2.0	66
	Project team	71



原子力船 (核分裂)

2010 DNV Extraordinary R & D Project

“Nuclear Powered Ships – A Feasibility Study” Project Manager 並川俊一郎(当時DNV所属)

講演 3 / 4 で紹介

2021 June DNV TECHNOLOGY PROGRESS REPORT

第7章 Nuclear-powered ships (以下、同レポートから抜粋し調整した)

NUCLEAR FISSION (核分裂)

- 大型船1,000隻の排出量は世界の船舶の10%, 全世界排出量の0.3%
- 先進原子力船は最小コストで高速 (e.g. 30-35 kt コンテナ船) を実現し、航行時間を減少し、運送キャパシティーを増やす。
- 加圧水型原子炉 (PWR)は1950年代から、海軍 (潜水艦、空母) や砕氷船で採用されている。
- しかし特殊技能海軍乗組員や濃縮ウランの取り扱いを要する。=> 商船には不向き。
- 新しい原子炉: 少数の特殊技能者、非常時や冷却システム消失でも核汚染を起こさない

小型モジュール炉 (Small Modular Reactors – SMRs)

- 70基 開発中、うち6基が船用、~5MWから450MW, 工場での連続生産可能、良好な可搬性

溶融塩炉 (Molten Salt Reactors – MSR)

- MSRは伝統的・受動的安全性および長い燃料供給サイクルから技術が成熟すれば海運に最適
リスク、コストも考察し、溶融塩炉が外航海運に最適だがさらに陸上で開発と経験を深め、
リスクやコストも含めてパブリック アクセプタンスを得なければならない。



原子力船 (核融合)

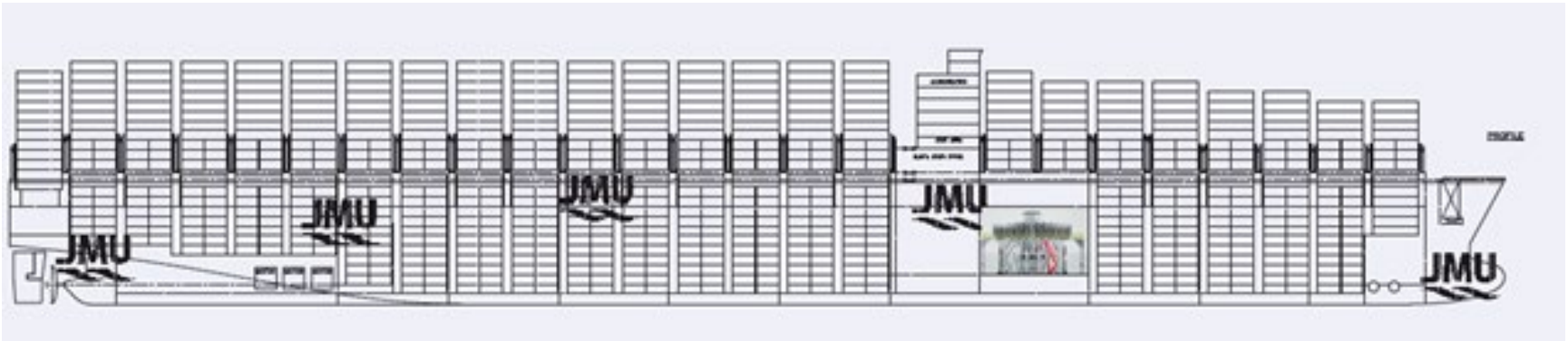
(第7章 Nuclear-powered ships 続き)

NUCLEAR FUSION (核融合)

- 私企業の核融合技術はこの10年以内の商業化に向けて加速している。
- 核分裂炉のように、海運は核融合炉から恩恵を受けることができるのだろうか。
- 核融合炉
 - 最初の大型核融合炉 ITER (イーター) が重水素と三重水素による2035年の稼働を目指しているのと併行して、十分な資金を得たスタートアップグループが小型核融合炉を開発している。
 - 核融合炉は、本来的に安全で、放射性廃棄物は少なく、燃料コストは安い (重水素は、6,500個の水素原子中の1個存在するので、地球上の海洋に豊富に含まれている)。
 - これらはオペレーション上将来のエネルギー源として魅力的だが、
 - (核分裂炉に比べて) 核融合炉を稼働させるには大量のエネルギーを必要とするので、どの融合炉も、入力エネルギーを超える出力エネルギーを実現していない (DNV レポート作成 2021年現在)。
 - 高プラズマ密度と高温状態を十分に長時間閉じ込める必要。
 - プラズマ閉じ込め方法：太陽は強力な重力によって閉じ込めているが地上では不可能ゆえ、
 - 磁力線で織りなしたトーラス (円環型) 状の籠：プラズマ密度が低い→より高温、より長時間 = トカマク型 (現在50基)
 - スタートアップ、General Fusion社の技術がエネルギー回収においてもっとも妥当
- 市場性：太陽光や風力に匹敵するか、実証する必要あり。
- 社会認知のリスクが残るすなわち核分裂炉より十分にクリーンで安全かを示す必要がある。
- 応用例として、淡水化プラントや水素製造があるがここでは海運における先進的脱炭素技術として、**核融合炉搭載大型コンテナ船の概念を開発する。ABB, DNV, General Fusion, JMU and NYK**



核融合原子力船 (FPCV, Fusion Powered Container Vessel)



Principal dimension	Reference	FPCV
Deadweight at des d (t)	157,700	147,700
No. of container (TEU)	20,166	19,338
Vs (kn)	23.0	28.0
Propulsion power (MW)	67.0	92.8
Aux. power (MW)	10.0	20.0



航路と船型による比較

(原題 : Trade route and scenarios)

航路	Traditional	Reference	SUEZ	CAPE
Vessel	Conv.	Conv.	FPCV	FPCV
平均船速 (kt)	18	18	28	28
周回距離 (海里)	22,652	21,237	21,137	28,071
寄港数	11	5	5	5
周回時間 (hour)	1,848	1,680	1,176	1,344
出港隻数/週	11	10	7	8

(no vessels. weekly dept.)

航路別船種ごとの累積コスト

単位 : 10億ドル





7TH WORLD MARITIME TECHNOLOGY CONFERENCE

26-28 April, 2022 Copenhagen, Denmark

以下は上記会議で発表されたDNV et al. 論文の抜粋である。司会 H.O.Madsen

Fusion-powered container vessel concept

Pierre C Sames,¹ Eero Lehtovaara,² MattMiles,³ Tomoaki Takahira,⁴ Yasushi Yamamoto⁵

1. DNV 2. ABB Marine & Ports 3. General Fusion 4. JMU 5. NYK

CONTENT

- General Arrangement
- Fusion Power Plant
- Hazard Identification
 - 衝突時損傷パイプからの液体燃料漏洩と水蒸気爆発
 - 機器損傷による蒸気漏れ
 - 冷却水の港内放出不可
- Economic Analysis
- Conclusions

27 % コスト減、30%早く、ゼロエミッション



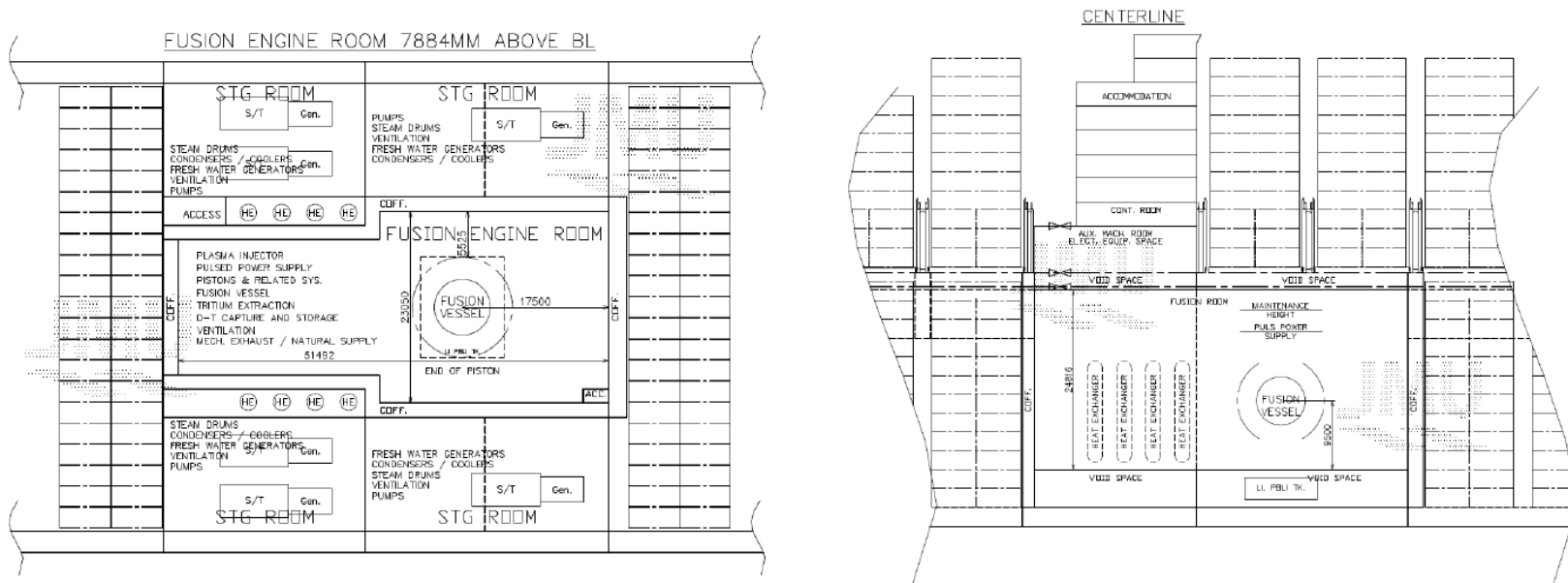


Figure 4: Arrangement of fusion engine and steam plant. Left: top view; right: side view.

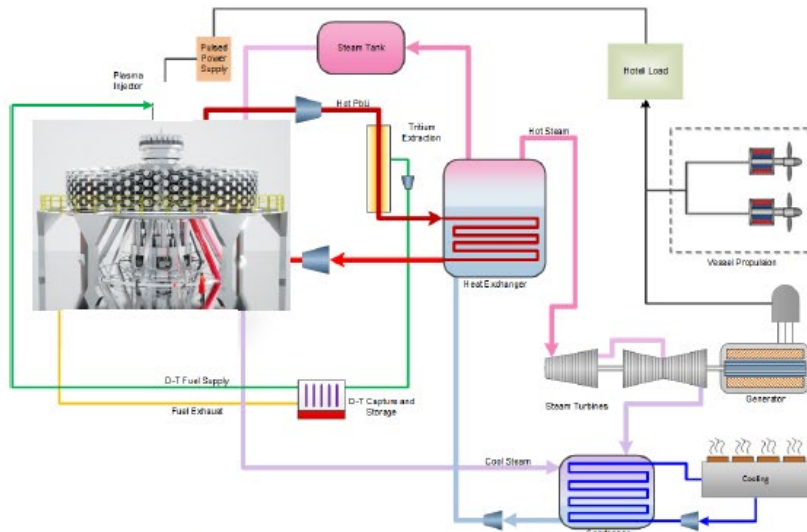


Figure 5: onboard fusion power plant layout (schematic)

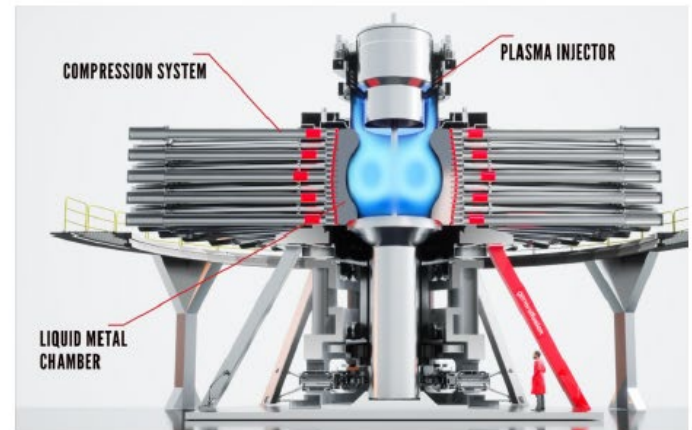


Figure 6: fusion demonstration plant



日本における原子炉開発状況（核分裂炉、核融合炉）

2022-06-10 日経クロステック： 直径1mで25年間燃料交換無し、三菱重工の超小型原子炉

三菱重工が超小型原子炉（マイクロ炉）の開発を進めている（図1）。炉心サイズが直径1m×長さ2mとトラックで運べる小ささだ。可搬性に優れることから、離島やへき地、災害時の電源として期待できる。次世代原子炉としては電気出力300MW以下の「小型モジュール炉（SMR）」などにも注目が集まっているが、マイクロ炉はそのSMRよりも小さい。果たしてどのような構造、仕組みなのか。



図1 三菱重工が開発を進めるマイクロ炉

トラックで運べる大きさの超小型原子炉。離島やへき地、災害時などの電源を想定する。
（出所：三菱重工）
[画像のクリックで拡大表示]

三菱重工によると、マイクロ炉の設計寿命は25年を目標としており、その間の燃料交換を不要にする。想定する熱出力は1MW、電気出力は500kWほど。大まかな比較だが、原子力発電所の大型軽水炉1基あたりの電気出力を1GWとすれば、マイクロ炉は数千分の1。前述のSMRと比べても、数百分の1程度の規模である。

運転開始の目標時期は2040年ごろと少し先だ。三菱重工取締役社長兼CEO（最高経営責任者）の泉澤清次氏は2022年5月に開いた決算説明会で「脱炭素とエネルギー安全保障の観点から原子力が再評価されている」と語り、マイクロ炉を高温ガス炉（HTGR）や高速炉と並ぶ、同社の次世代の原子力技術として位置づけた。

日本経済新聞

記事利用について

核融合の世界最大級実験装置、22年秋稼働 脱炭素で注目

2022/2/19 2:00 | 日本経済新聞 電子版

温暖化ガスを排出しない革新的な発電技術として核融合に注目が集まる。量子科学技術研究開発機構（QST）の世界最大級の核融合実験装置「JT-60SA」（以下SAと表記）が2022年秋にも本格的に稼働する。核融合は高度なプラズマ制御技術などが必要だが、脱炭素を背景に世界で開発機運が盛り上がっている。



核融合の実験装置「JT-60SA」（量子科学技術研究開発機構提供）

2022-09-11 日本経済新聞

「核融合実験炉」2025年に「初プラズマ（初期稼働）」を予定。

核融合施設は2050年よりも前の実用化は難しい。



ありがとうございました



NAVIKA Consulting

代表 並川俊一郎

[E-mail: Shunichiro.namikawa@icloud.com](mailto:Shunichiro.namikawa@icloud.com)

Tel: +81 (0)90 8824 3631 (mobile)

