

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発

実施者名：ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、代表名：代表取締役社長 田尾 知久

(共同実施者：日立造船 株式会社[幹事会社]，株式会社 商船三井)

目次

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

世界的な温暖化対策の強化により全ての船舶に対するグリーン化要求が高まっている

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- 温暖化問題の表面化
- パリ協定('15年、2℃目標)→IPCC1.5℃特別報告書('18年)
- 世界各国で2050年のカーボンニュートラル目標の設定

（経済面）

- カーボンニュートラル目標達成のためには大規模投資を要する
- EU Green Deal, 日本 グリーンイノベーション基金等の補助施策

（政策面）

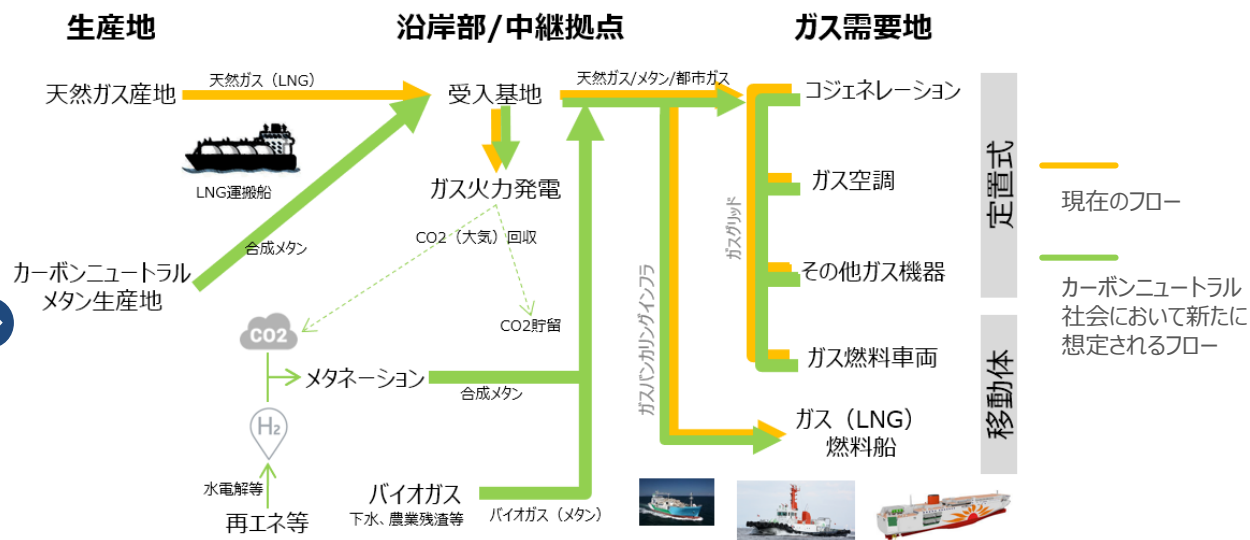
- IMO GHG strategy（'18年設定、'23年目標値強化見込み）
- IMO 既存船燃費性能規制や燃費格付け制度の施行（'23年から）
- EU ETS対象拡大や国際海事研究開発基金(IMRF)設立の動き
- IMOでの未燃メタン排出（メタンスリップ）削減に対する議論の高まり（LNG主成分のメタンは温室効果がCO2の約25倍とされ問題視）

（技術面）

- 欧州2/4-strokeエンジンメーカーのLNGエンジンのメタンスリップ削減に向けた動き
- 市場機会：
全ての船舶の低炭素化・脱炭素化が求められ、短期的にも長期的にも有効なパワーソースであるガスエンジンについて未燃メタンも含めた正味のGHG排出量を削減するニーズ（必要性）が高まる。
- 社会・顧客に与えるインパクト：
船用ガスエンジンのメタンスリップを削減することで、顧客（船主やオペレータ）ビジネスの低/脱炭素化に貢献

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

ガス燃料の生産・供給・利用全体像



- 環境性や経済性の観点から近年、天然ガス利用が拡大（船舶、発電セクター等）
- 長期的にはバイオガス（メタン）や合成メタンへ徐々に移行することで脱炭素へ向かう（従来のガスインフラやガス機器を活用可能。ただしLNG同様、メタンスリップ対策は必須と想定）

当該変化に対する経営ビジョン：

A SUSTAINABLE FUTURE

～テクノロジーで、新しい豊かさへ。～（グループのブランドステートメント）

A GLOBAL LEADER in Green Powertrain Technologies

～ 環境負荷を最小化する動力を提供

（ヤンマーパワーテクノロジー長期ビジョン）

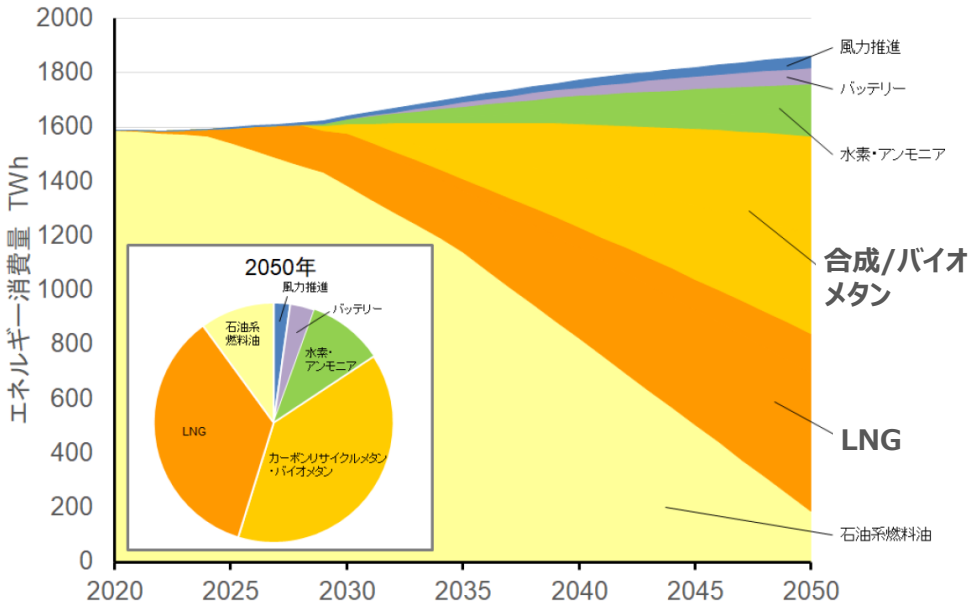
1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

外航/内航問わず将来のIMOのメタンスリップ規制対応が求められるガス燃料船をターゲットとする

セグメント分析

船舶における燃料種別比率見通し

出典：国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップにおける「LNG→カーボンサイクルメタン移行シナリオ」を参照



- 船舶におけるLNG利用は'20年代後半から普及が加速
- 合成/バイオメタンは'30年頃から普及し始め'50年に掛けて拡大。LNGと併せて船舶において（メタン）ガス燃料が最も広くされる。
- 水素・アンモニアが主体となる別シナリオにおいてもLNGは上グラフと同等のシェアを占めるとされ、過渡期の燃料として最重要視される。
- LNG・メタンは水素・アンモニアに対して体積エネルギー密度が高く、外航・内航問わず適用可能。

ターゲットの概要

市場概要と目標とする船種

- LNG（とその代替ガス）燃料船について、外航船は補機、内航船クラスは主機（と電気推進の補機）を対象とする
- 長期的（'50年頃）には船舶の約3割がLNG燃料を利用する見通し
なお合成およびバイオメタンを含めるとガス燃料比率は約75%を占める（左記グラフ）
- IMOのメタンスリップ規制が施行されるとほぼ全てのガス燃料船が対象となる可能性
- LNGタンカーや港湾タグ、フェリーはガス燃料化事例が既に多く、今後も相対的にガス普及率が高いと考えられる

船種		市場成長率	顧客（船側）の課題	想定ニーズ	
外航船	LNGタンカー	LNG需要増	GHG（メタン）規制適合 積荷の燃料利用	補機のLNG利用 ボイルオフガス（低圧）利用	補機 想定
	バルカー その他タンカー コンテナ等	その他化石燃料需要減	GHG（メタン）規制適合 ペイロード確保 低コスト燃料の利用最大化	補機のLNG利用	
内航船	貨物船	同上	同上	小型・高出力化（付帯設備含め）	主機 （または 電気推進 補機） 想定
	作業船 タグ等	再エネ関連船需要増	GHG（メタン）規制適合 船速や出力確保	小型・高出力化（付帯設備含め） 負荷応答性 ハイブリッド化	
	客船 フェリー等	人口増	GHG（メタン）規制適合 ペイロード、船速確保 冗長性、安全性確保 輸送サービス高付加価値化	小型・高出力化（付帯設備含め） 電気推進（/ハイブリッド）化 静粛性	
	漁船		GHG（メタン）規制適合 ペイロード確保 バンカリングインフラの普及	液体バイオ燃料等での対応が主体になると想定	

主なターゲット

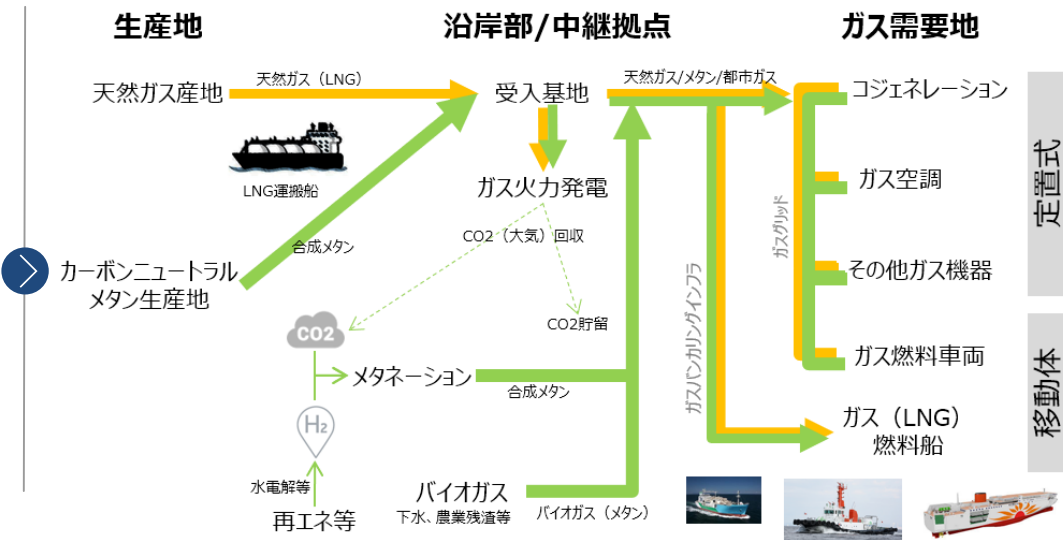
1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

メタンスリップ削減技術を用いてGHG削減した機関を提供する事業を創出/拡大

社会・顧客に対する提供価値

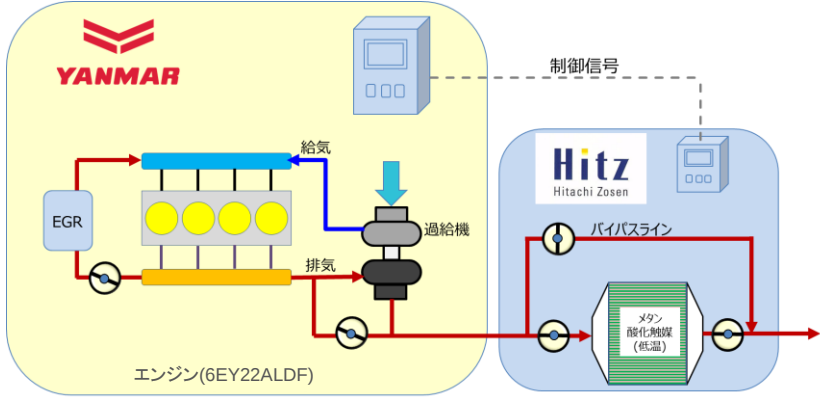
- 船用機関からのメタンスリップ削減
～2026:実船実証完了
- NOx , SOx規制満足維持

ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性



1.メタンスリップ削減技術を用いた 舶用機関の市場投入(2026～)

- メタンスリップ削減技術
- ・メタン酸化触媒
- ・空燃比リッチ化による削減



- ・外航補機市場でのシェア堅持
- ・国内外主機市場での拡販

今回は、下記機関にて技術開発を行い、
今後、4 ストローク主機関、補機関でのラインナップ化を推進する。



機関型式	6EY22ALDF
定格出力[kW]	800
定格回転数[min^{-1}]	900
シリンダー数	6
シリンダー径 x 工程[mm]	$\Phi 220 \times 320$
用途	舶用補機関

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

メタンスリップ削減システムに関するルール形成を推進

海外の標準化や規制の動向

（海外の標準化動向）

- メタンスリップ削減システムの安全性要件の確立(AiP取得の動き)
- メタンスリップの計測手法の標準化が求められる。

（規制動向）

- IMOでの燃料のLCA(Life Cycle Assessment)の協議の中でLNG燃料エンジンからのメタンスリップ排出量を考慮する議論が開始されている。



標準化の取組方針（標準化以外の場合、その手段あるいは方法を記載）

- メタンスリップの計測、評価手法の確立
NKと共に計測、評価手法の確立を進める

標準化の取組内容（全事業期間通じて）

（標準化によるイノベーション基盤の構築）

- メタンスリップ削減システムの安全性要件の確立と標準化(オープン)
船級、船主、造船所、触媒メーカー、エンジンメーカーが共同してIGFコード、IGCコードをベースに安全性要件の作り込み推進
※海外船級やコンソーシアム外の船社、造船所との協議、意見交換、情報収集も実施しシステムとして最適なレイアウト設計を実現する。
- メタンスリップ計測、評価手法の標準化と規制導入によりメタンスリップ削減技術の普及を進める。
- EGR等を用いた独自の燃焼制御技術や触媒性能を最適化する制御を主としてノウハウ化及び知財占有化を進める(クローズ)。
- メタンスリップ削減技術の普及のために、標準化と知財を連動させる形で自社の技術的な強みをより活用できるような事業戦略を立案

（標準化推進体制の構築）

- メタンスリップ削減技術戦略立案・推進を行う専門部署の立ち上げ

知財、その他規制等に関する取組方針・内容

- 開発した技術に関し積極的に特許を出願する。

1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

自社の強みを活かして、社会・顧客に対してGHG排出削減という価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

競合との比較

ターゲットに対する提供価値

- メタンスリップ削減技術の確立
- GHG削減効果を多数の船に展開

自社の強み

- 船用ディーゼル補機関で世界トップシェア
- DFエンジンやSCRを自社開発できる技術力保有
- 世界各地への販売, サービスネットワーク

自社の弱み及び対応

- 海外メーカーに対する価格競争力
 - 他社本格展開前の市場実績蓄積
 - サービスネットワークによる迅速な対応

自社

技術

- 大形DFエンジン(燃焼)技術
- 自社製エンジンへの尿素SCR適合(触媒装置設計)(エンジン制御/排ガス温度コントロール)
- エンジニアリング, アフターサービス面
- (将来)次世代燃料システム全体をインテグレーションする技術力

顧客基盤

- ヤンマー船用ディーゼルエンジンへの信頼度/期待感(船用ディーゼル補機関で世界トップシェア確保)
- LNG-DFエンジン、SCRにおける市場投入実績
- 世界各地に広がるサービスネットワーク

競合

- 欧州ライセンサーもしくは欧州エンジニアリング会社からの技術供与によるエンジン開発

- 低価格販売
- ネットワークは未熟(ただし急成長の可能性あり)

2021年に研究開発開始、2027年頃に事業化、2034年頃の投資回収を想定

							事業化 ▼	投資回収 ▼	
年度	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	...	2034
売上高							事業化、市場導入・拡大		
研究開発投資 ※	11.3億円（本事業の支援期間）						商品ラインアップ拡充		
取組の段階	研究開発 →			実船実証 →			社会実装 →		
メタンスリップ削減効果						現行方式に比べメタンスリップ70%削減 →			

※ 事業化・商品化のための開発投資を含む

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	- 積極的な知的財産権取得 - コンソーシアム内での船社・触媒メーカーとの意見交換による開発内容への反映 - 開発段階からの船級との意見交換による国際ルール化への反映	LNGエンジンの生産のため、設備投資を計画	環境規制強化に対応した販売
進捗状況	開発初期の段階から船社、触媒メーカー、造船所、船級との意見交換を行い、作り込みを前倒しし、基本設計承認(AiP)を取得	社内生産設備のLNGエンジンの生産能力増強のため設備投資を実施中。	SEA JAPAN等の展示会や業界紙での積極的なPR活動を実施
国際競争上の優位性	- ユーザー視点に立ったシステム開発 - 国際ルール制定参画によるルールの先取り市場展開 - 海外船級やコンソーシアム外の船社、造船所等との協議を進め、システムに最適なレイアウト設計を実現する。	次世代燃料エンジン開発・生産拠点整備により、GHG排出削減への流れを加速	早期開発による市場展開加速とシェア拡大

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

LNGエンジンの生産能力増強のために設備投資を推進

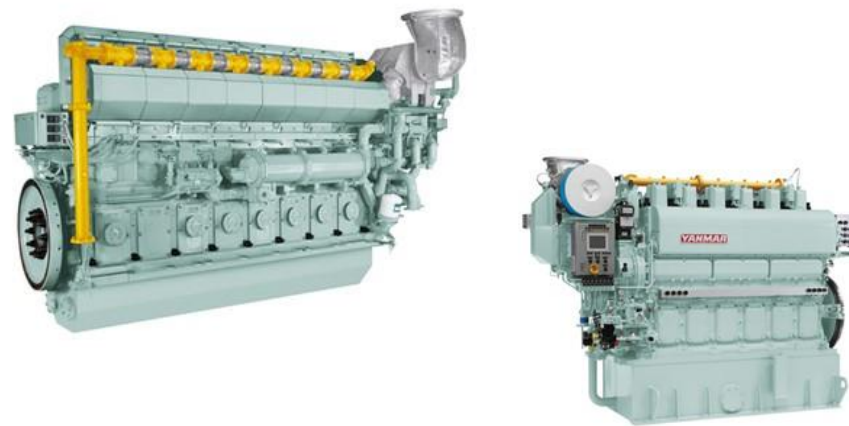
LNGエンジンの生産量拡大に向けて出荷運転用のベンチを増強するための設備投資を実行中。



YPT尼崎工場



引用元:Google社「Googleマップ」



1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、10.2億円規模の自己負担を予定

資金調達方針

年度→	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	～	2034	2035
事業全体の 資金需要	約16.1億円						社会実装に向けて 商品ラインナップ拡充のための 投資を継続する					
うち研究開発 投資	約11.3億円											
国費負担 (補助)	約5.9億円											
自己負担	約10.2億円											

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

メタンスリップ削減率70%というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標		
LNG燃料船のメタンスリップ対策 対象：4ストロークエンジン補機800kW	2026年までにLNG燃料船のメタンスリップ削減率70%以上		
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
1 触媒の開発(2021年～2023年)[日立造船] エンジン排ガスの条件で触媒を反応させて目標のメタンスリップ削減率を達成する	メタンスリップ 削減率 70%	● 海運のゼロエミに貢献する。 ● 現状のままでは、重油からLNGへの燃料転換でCO₂は25%削減もメタンスリップによりGHG削減効果が薄れている。 ● メタンスリップを70%削減し、燃料転換によるGHG削減効果を引き上げる。	
2 エンジンシステムの開発(2021年～2023年)[YPT] ・ 触媒のメタンスリップ削減率を高めるために排気温度を昇温し、触媒劣化を抑制してメンテナンスインターバルを満足 ・ エンジン出口でのメタンスリップを削減			
3 <ステージゲートクリア後> 実船実証(2024年～2026年)[商船三井] 開発した触媒とエンジンを組み合わせてメタンスリップ削減技術の運用手法の確立			

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 触媒の開発 [日立造船] エンジン排ガスの条件で触媒を反応させて目標のメタンスリップ削減率を達成する	メタンスリップ 削減率 70%	実験による概念実証（TRL3） 模擬ガスでのメタン酸化率を確認	商業化前の実証（TRL7） メタンスリップ削減率70%をエンジン排ガスにて確認	- 触媒組成、製法検討による性能向上 - 方式①触媒組成の最適化 - 方式②触媒製法の最適化 - 方式③排ガスでの触媒評価から課題抽出、改善	70% 触媒に不利な温度条件でもシステムを成立させる
2 エンジンシステムの開発[YPT] - 触媒のメタンスリップ削減率を高めるために排気温度を昇温し、触媒劣化を抑制してメンテナンスインターバルを満足 - エンジン出口でのメタンスリップを削減		実験による概念実証（TRL3） リーンバーンをベースとした削減レベルに限定 メタン酸化触媒を実用化したエンジンは存在しない		- メタンスリップ削減 - 方式①メタン酸化触媒との協調制御 - 方式②エンジン本体の燃焼コンセプト見直しによるメタンスリップ削減	70% エンジン制御が難しい条件でもシステムを成立させる
3 <ステージゲートクリア後> 実船実証 [商船三井] 開発した触媒とエンジンを組み合わせてメタンスリップ削減技術の運用手法の確立		実験による概念実証（TRL3） 船用脱硝触媒装置の搭載知見あるが、メタン酸化触媒の運用技術は未確立	商業規模の実証（TRL8） 長期運用手法の確立	所有船へ開発した触媒とエンジンを組み合わせたシステムの適用	90% 上記課題を解決後に実施する

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容

1

a.触媒の開発

直近のマイルストーン

・空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$ にてメタン酸化率70%の初期性能確認



これまでの（前回からの）開発進捗

・空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$ 、375℃以上でメタン酸化率70%を達成
・上記結果をもってサブステージゲートを通過
・硫黄被毒による劣化後の触媒性能が従来と比較し向上する組成を見出した
・触媒の硫黄被毒の劣化を軽減するための方策を見出した

進捗度

進捗度：○
初期性能に関するマイルストーンは達成
耐久性向上のための対策は引き続き対策が必要

・2ストロークエンジン排ガスに技術展開する際の課題抽出



・2ストロークエンジン排ガス条件における触媒性能を試算
・触媒を過給機前設置する条件で70%以上のメタン酸化率を達成
・触媒設置による負荷追従性やレイアウトに問題はない

⇒上記、結果より2ストロークエンジンへ技術展開することは可能
ただし、他の対策技術や2ストロークエンジンのメタンスリップ特性を鑑み開発の要否は検討が必要

進捗度：○
技術面の課題についての検討はほぼ完了
市場動向を引き続き調査

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容

1

触媒の
開発

直近のマイルストーン

触媒レイアウトの決定
[サブステージゲート目標]



これまでの（前回からの）開発進捗

性能シミュレーションツールを用いて触媒レイアウトが過給機前と過給機後での排気温度特性、メタンスリップ削減率、過渡応答性を評価し、触媒レイアウトを過給機後に確定した。

進捗度

◎
(理由) 計画通りにレイアウトを確定

サブステージゲートの審査をクリア

2

エンジン
システム
の開発

触媒の初期性能評価
[サブステージゲート目標]



日立造船で開発中の触媒の単体での酸化性能試験結果に基づき上記、過給機後の触媒レイアウトにて実船実証船のレイアウトも考慮してメタンスリップ削減率の机上評価を実施し、概ねメタンスリップ削減率：70%を達成できることを確認した。

◎
(理由)
目標メタンスリップ削減率達成に目処

サブステージゲートの審査をクリア

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容

1

a.触媒の開発

直近のマイルストーン

・空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$
にてメタン酸化率70%の
初期性能確認



残された技術課題

・耐久性の向上
Dock to Dock相当の期間性能維持



・触媒製法の最適化
触媒性能を達成する製造方法の
確立
船用エンジンでの圧力や振動に耐える
機械強度を有する

解決の見通し

実ガス試験で潤滑油などの触媒性能の影響を確認し
組成を確立する

従来の脱硝触媒製造方法をベースに製造方法を確立
する
製造した触媒の振動試験を実施し必要な強度を有す
ることを確認する

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 触媒の開発	触媒レイアウトの決定 サブステージゲート目標	直近のマイルストーンに関する残された技術課題は無し。 今後、次のステージゲートに向けて実船実証船での触媒システムの構築と安全性の確保を進める。	開発初期段階からのコンソーシアム内各社とNKとの安全性の事前検証を実施し、システム構築と共に安全性の確保の見込み
2 エンジンシステムの開発	触媒の初期性能評価 サブステージゲート目標	直近のマイルストーンに関する残された技術課題は無し。 今後、次のステージゲートに向けてエンジン改良との組合せによる更なる、メタンスリップ削減を図る。	EGRや燃焼改良との組合せにて更に削減見込み

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

これまでの研究開発目標の達成状況

**「メタン酸化触媒量として空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$ にて
メタン酸化率70%の初期性能の確認」**

「触媒反応器のレイアウトの決定と触媒の初期性能評価を完了」

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

・触媒用エンジンシステムの基盤構築（完了時期：2023年度）

2022年度の目標

空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$ にてメタン酸化率70%を確認

【結果】375℃以上で達成

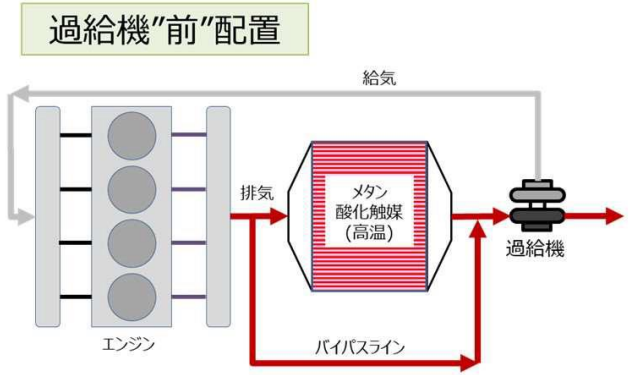
・耐久性

加速試験結果をもとに性能を試算(SV: $7,000\text{h}^{-1}$, 400℃)

実機相当のSO₂で約1,000時間の耐久性を確認

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

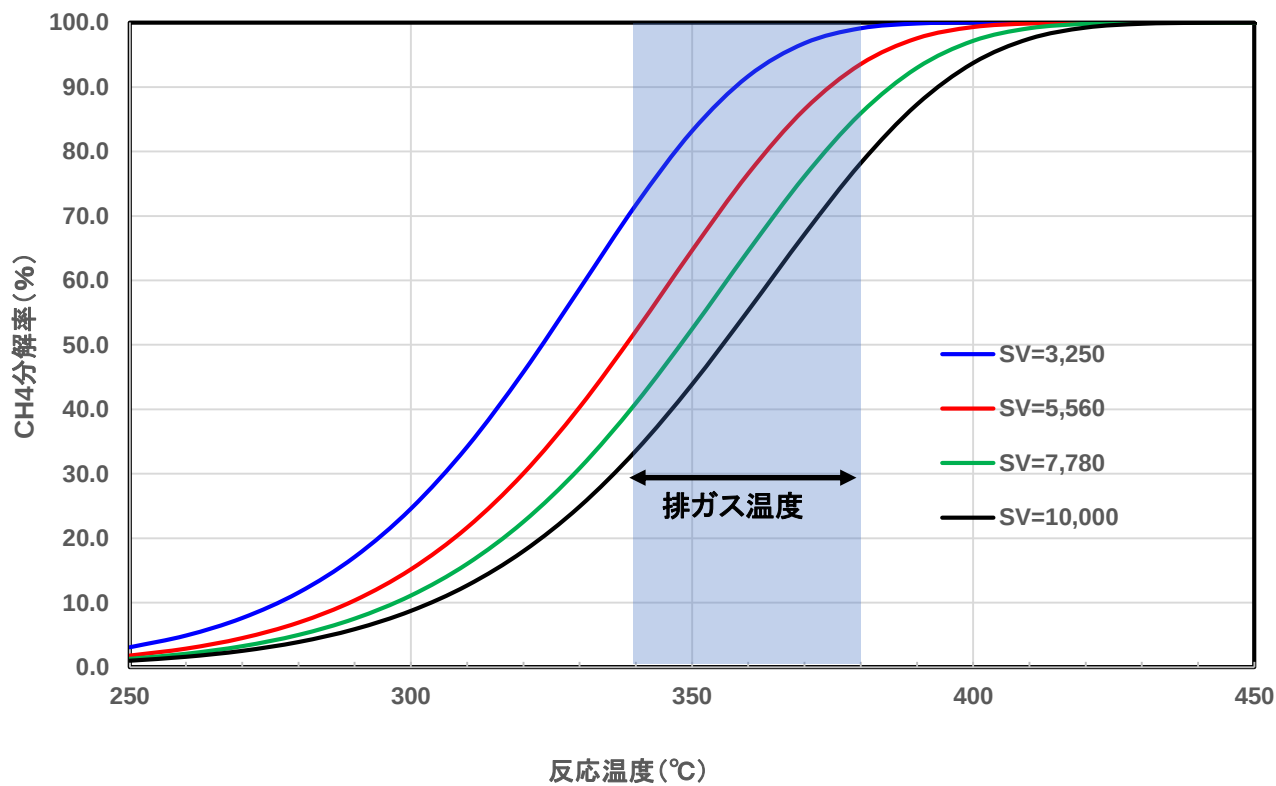
2ストロークエンジン排ガスに技術展開する際の課題



エンジン負荷 (%)	SV
25	3,250
50	5,560
75	7,780
100	10,000

触媒量はエンジン100%負荷時の排ガス量で設計
目標値は100%負荷時にSV=10,000

※SV (Space Velocity、空間速度)
単位時間あたりに触媒内を通過するガス量と触媒体積の比
同流量でSV大きくなると触媒体積は小さくなる
 $SV [h^{-1}] = Q [L/h] / V [L]$



- ・エンジンチューニングにより過給機前の排ガス温度は340℃から380℃の見込み
- ・各負荷において70%以上のCH₄分解率達成
- ・SCRの知見から、触媒設置による負荷追従性やレイアウトは問題ない
- ・2ストロークエンジンへの展開は可能

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

これまでの研究開発目標の達成状況

「メタン酸化触媒量として空間速度 $\geq 7,000\text{h}^{-1}$ にて
メタン酸化率70%の初期性能の確認」

「触媒反応器のレイアウトの決定と触媒の初期性能評価を完了」

2-1.触媒反応器レイアウトの検討の目的

2-2. 触媒反応器の過給機“前”配置の成立性の検証

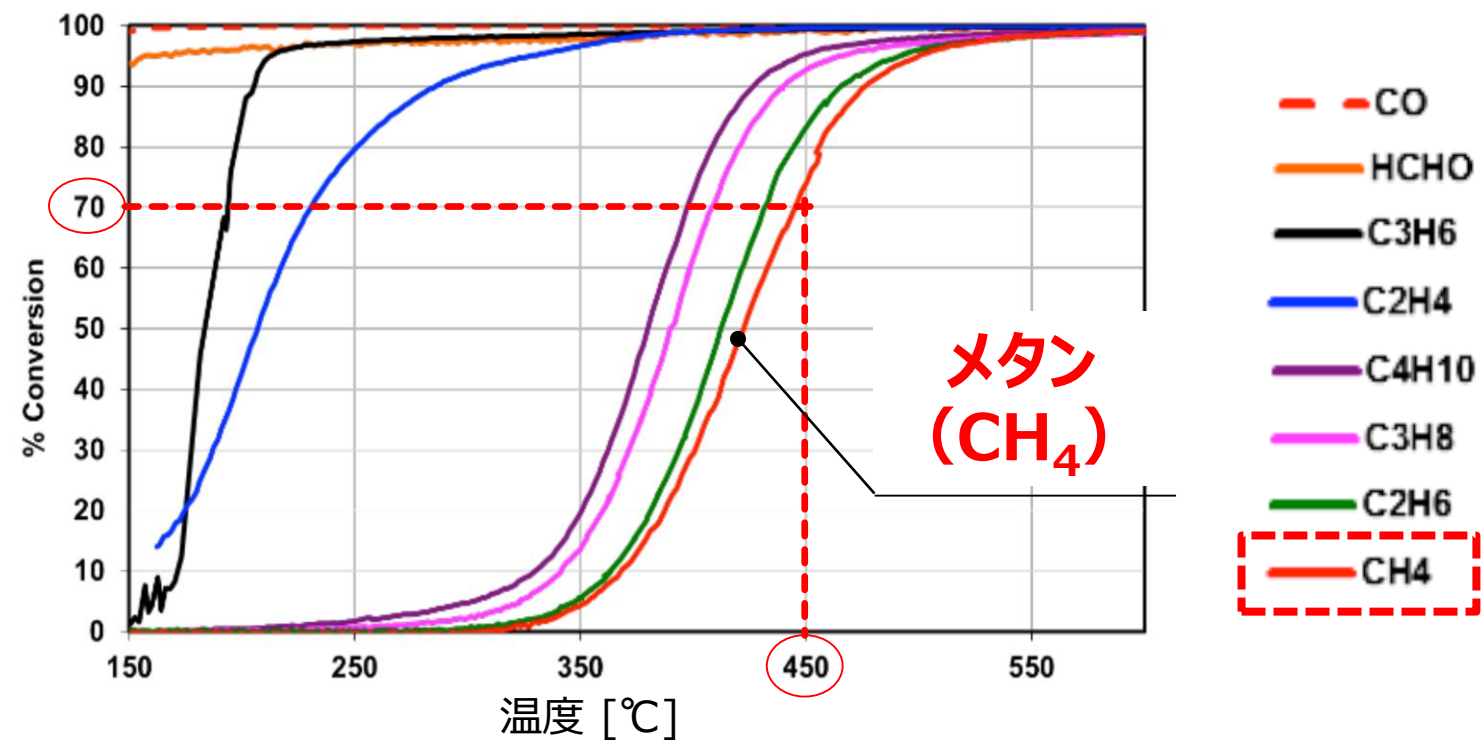
2-3.触媒反応器の過給機“後”配置の実現可能性の検討



2-1.触媒反応器レイアウトの検討の目的

メタン酸化触媒の課題：既存触媒では70%のメタン酸化率に450℃の高温が必要

メタン酸化触媒の課題：低温での触媒性能



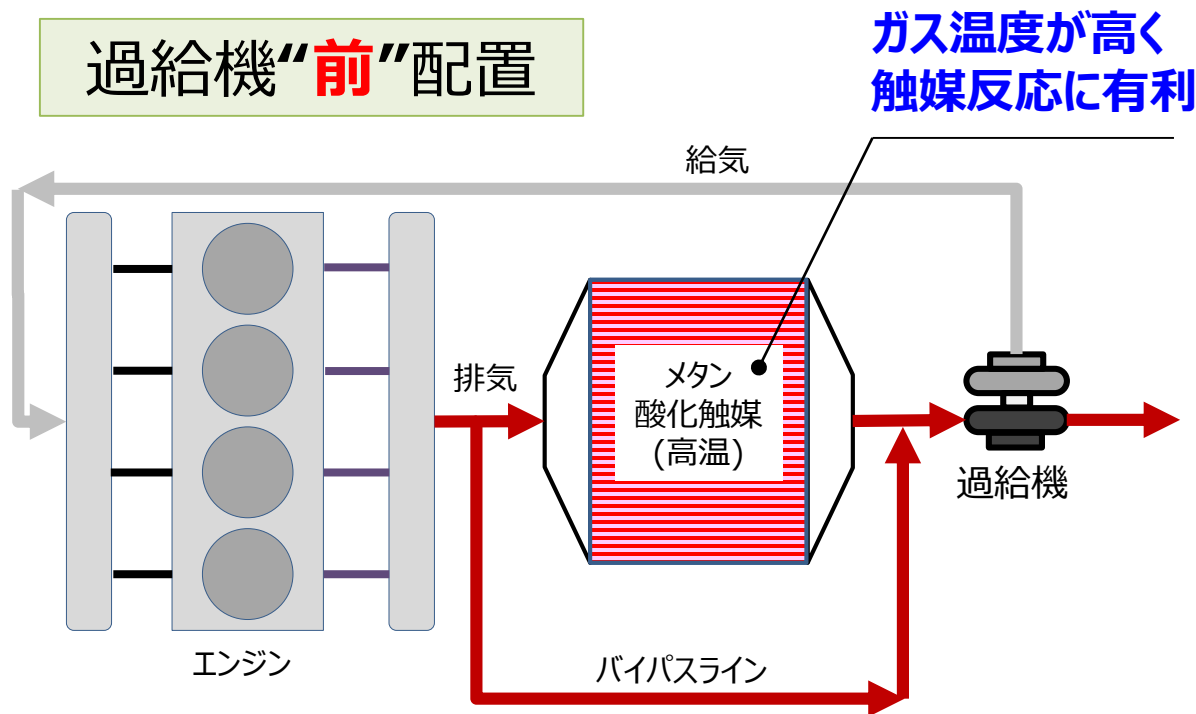
反応条件

O ₂	11.0%
Hydrocarbon as C ₁	1120ppm
CO	800ppm
CO ₂	10.0%
H ₂ O	10.0%
N ₂	Balance

(出典：CIMAC2019 paper 398(2019.6.10-14))

触媒反応器の過給機“前” or “後”配置により触媒性能やエンジン、触媒槽レイアウトに大きく影響を与えるため早期の目標達成のためにもPJ初期で確定する必要がある。

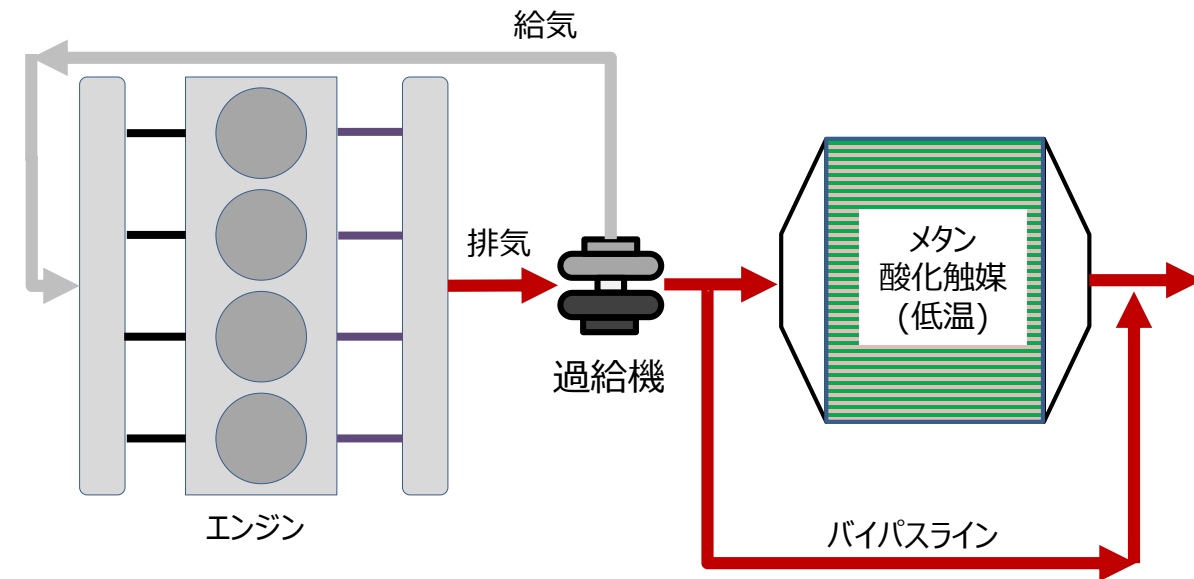
過給機“前”配置



[課題]

- ・搭載レイアウト（搭載制限）
- ・過渡応答性の悪化

過給機“後”配置

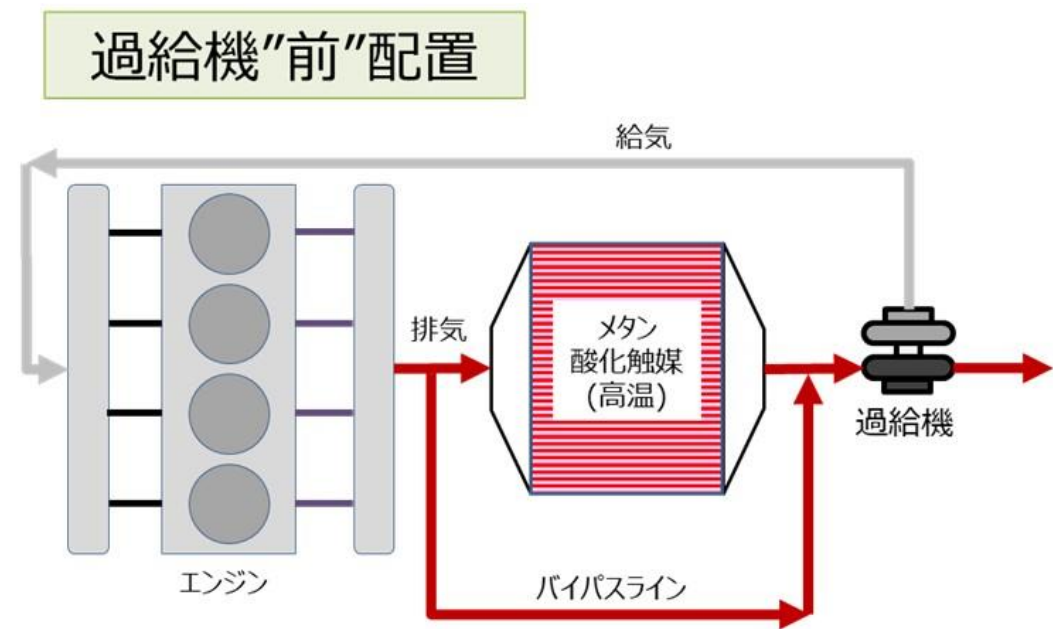


[課題]

- ・排気管での温度低下
- ・低温用メタン酸化触媒

過給機前後の各課題の成立性を検討し、実船試験搭載レイアウトを選定する

2-2.触媒反応器の過給機“前”配置の成立性の検証



触媒反応器設置レイアウト 過給機“前”の成立性を下記指標により判断

① 触媒性能の比較

： 高圧・高温下における “過給機“前”触媒のコンパクト化”

② 搭載性の比較

： “コンパクト化過給機“前”触媒の搭載性”

③ 負荷追従（投入）性の比較

： 過給機への配管・触媒設置による“過給機応答遅れによる負荷追従性悪化”

④ 過給機“前”触媒の信頼性検証

： エンジン排出THCの過給機“前”触媒での燃焼による“過給機“前”触媒の性能への影響”

触媒反応器設置レイアウト 過給機“前”の成立性検討

① 触媒性能の比較

： 高圧・高温下における “過給機”前”触媒のコンパクト化”

② 搭載性の比較

： “コンパクト化過給機前触媒の搭載性”

③ 負荷追従（投入）性の比較

： 過給機前への配管・触媒設置による“過給機応答遅れによる負荷追従性悪化”

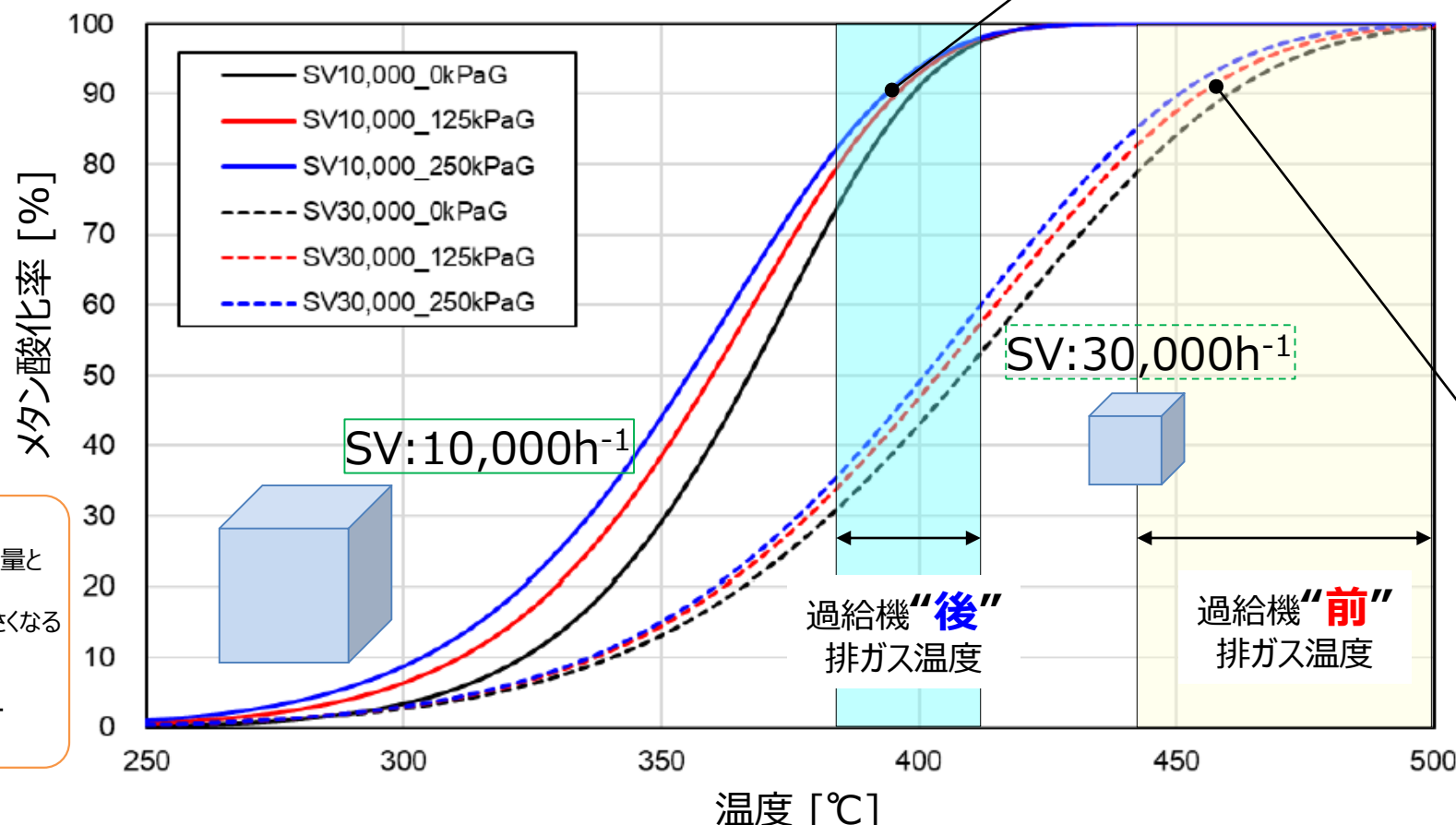
④ 過給機前触媒の信頼性検証

： エンジン排出THCの過給機前触媒での燃焼による“過給機前触媒の性能への影響”

メタン酸化触媒サイズは、過給機“前”に設置すると過給機“後”に比較し1/3に小型化できる。

今回開発のHitz殿触媒

過給機“後”の排ガス温度で
成立する触媒のSVは約**10,000h⁻¹**



過給機“前”の
排ガス温度で
成立する触媒の
SVは約**30,000h⁻¹**

過給機後と比較し
触媒サイズは
約1/3にできる

※SV (Space Velocity、空間速度)
単位時間あたりに触媒内を通過するガス量と
触媒体積の比
同流量でSV大きくなると触媒体積は小さくなる

$$SV [h^{-1}] = \frac{Q [L/h]}{V [L]}$$

以降の触媒SVは、過給機“前” : 30,000h⁻¹、過給機“後” : 10,000h⁻¹にて検討

触媒反応器設置レイアウト 過給機“前”の成立性検討

① 触媒性能の比較

過給機前は触媒サイズの1/3化が可能。
以後、前：SV-30,000 h⁻¹、後：SV-10,000 h⁻¹にて検討

： 高圧・高温下における “過給機前触媒のコンパクト化”

② 搭載性の比較

： “コンパクト化過給機“前”触媒の搭載性”

③ 負荷追従（投入）性の比較

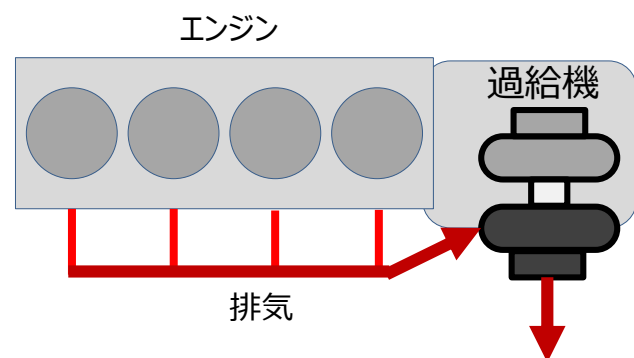
： 過給機前への配管・触媒設置による“過給機応答遅れによる負荷追従性悪化”

④ 過給機前触媒の信頼性検証

： エンジン排出THCの過給機前触媒での燃焼による“過給機前触媒の性能への影響”

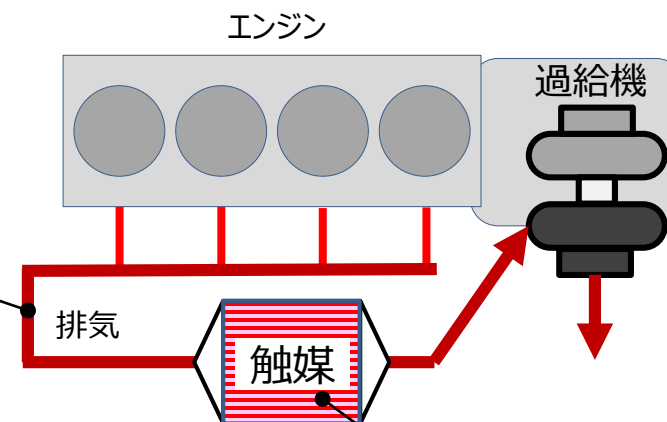
過給機“前”への触媒設置の為、排気配管の延長が必要

触媒なし（現行レイアウト）



過給機“前”触媒反応器設置のレイアウト

排気管追加長さ
3,000mm



SV 30,000h⁻¹

過給機まで219.3Lの容積追加が必要
➡ 過給機の応答遅れが課題に

触媒反応器設置レイアウト 過給機“前”の成立性検討

① 触媒性能の比較

： 高圧・高温下における “過給機前触媒のコンパクト化”

過給機前は触媒サイズの1/3化が可能。

以後、前：SV-30,000 h⁻¹、後：SV-10,000 h⁻¹にて検討

② 搭載性の比較

：“コンパクト化過給機前触媒の搭載性”

過給機までに 容積 219.3L、熱容量72.8kJ/K が追加

③ 負荷追従（投入）性の比較

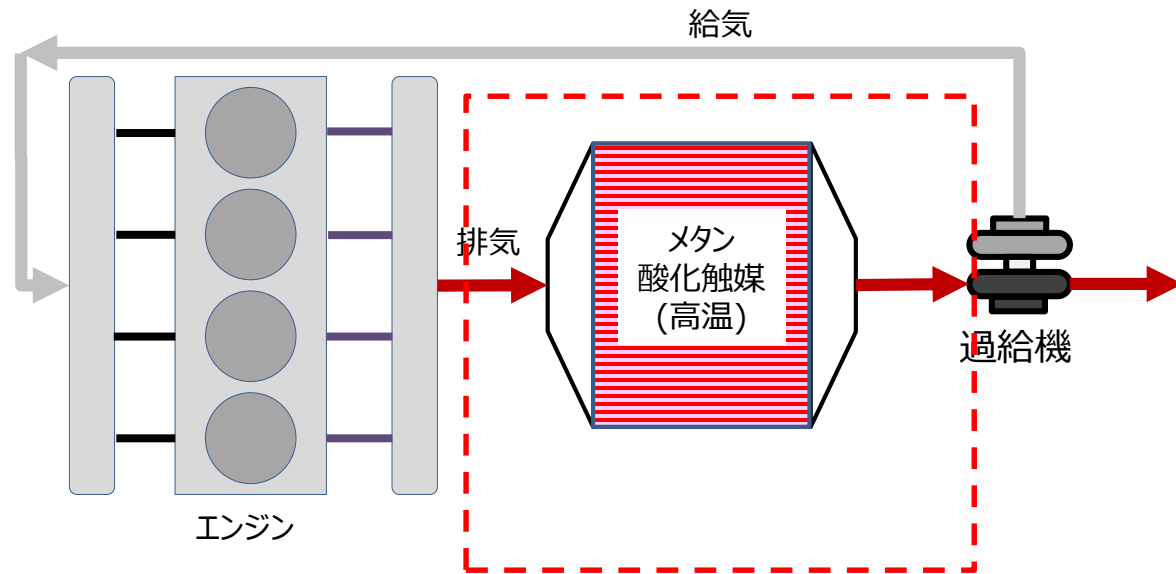
： 過給機“前”への配管・触媒設置による“過給機応答遅れによる負荷追従性悪化”

④ 過給機前触媒の信頼性検証

： エンジン排出THCの過給機前触媒での燃焼による“過給機前触媒の性能への影響”

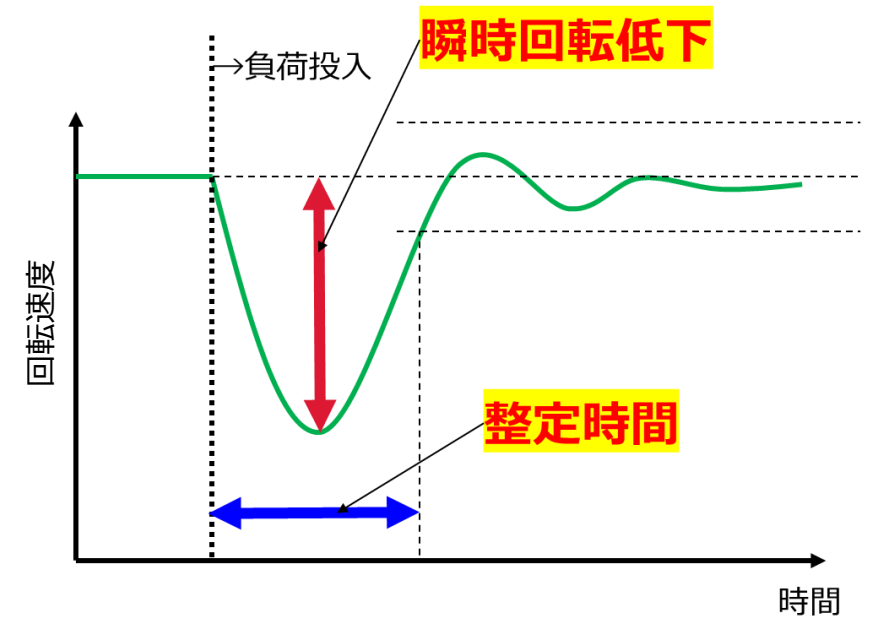
発電用補機エンジンでは負荷追従性が求められ、一定時間内に回転速度の整定が必要

過給機“前”配置



過給機まで219.3Lの容積追加が必要
➡ 過給機の応答遅れが課題に

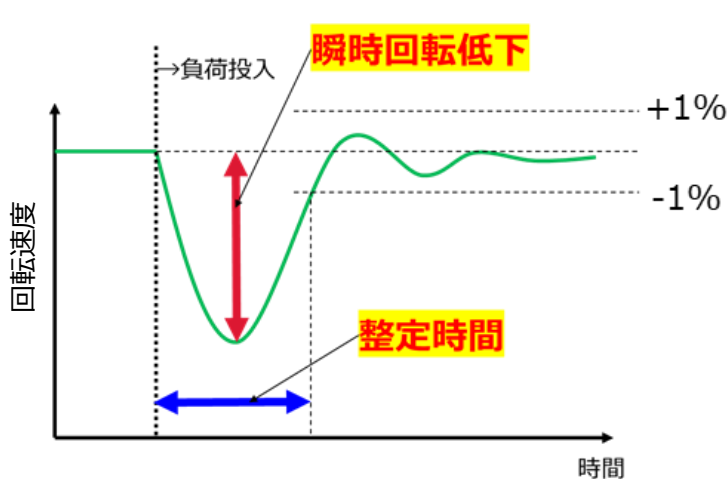
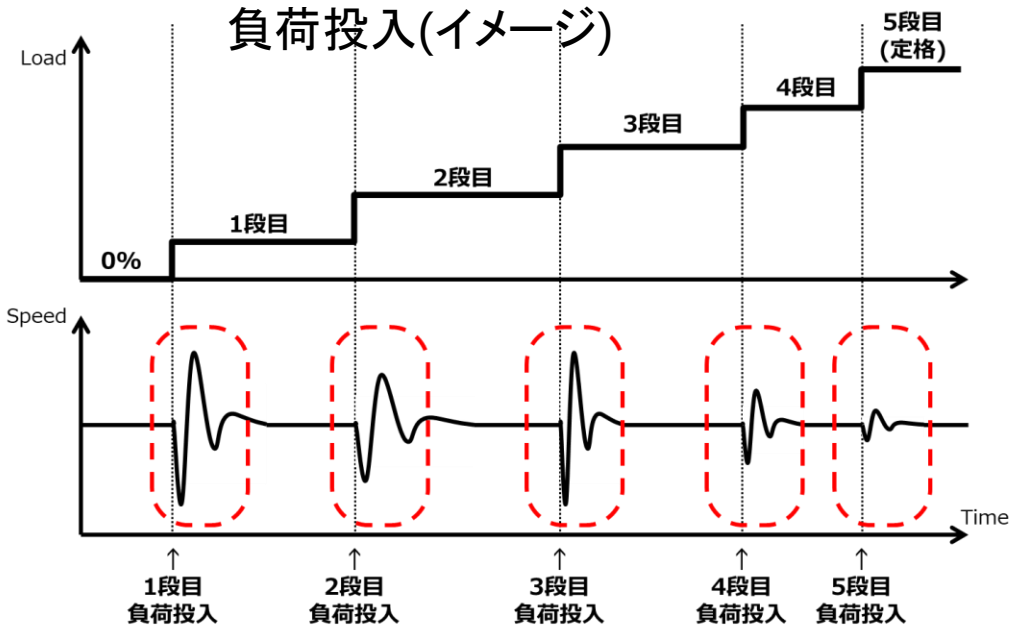
発電用補機エンジンでは、船内電力需要変動に応じた負荷追従性が求められる



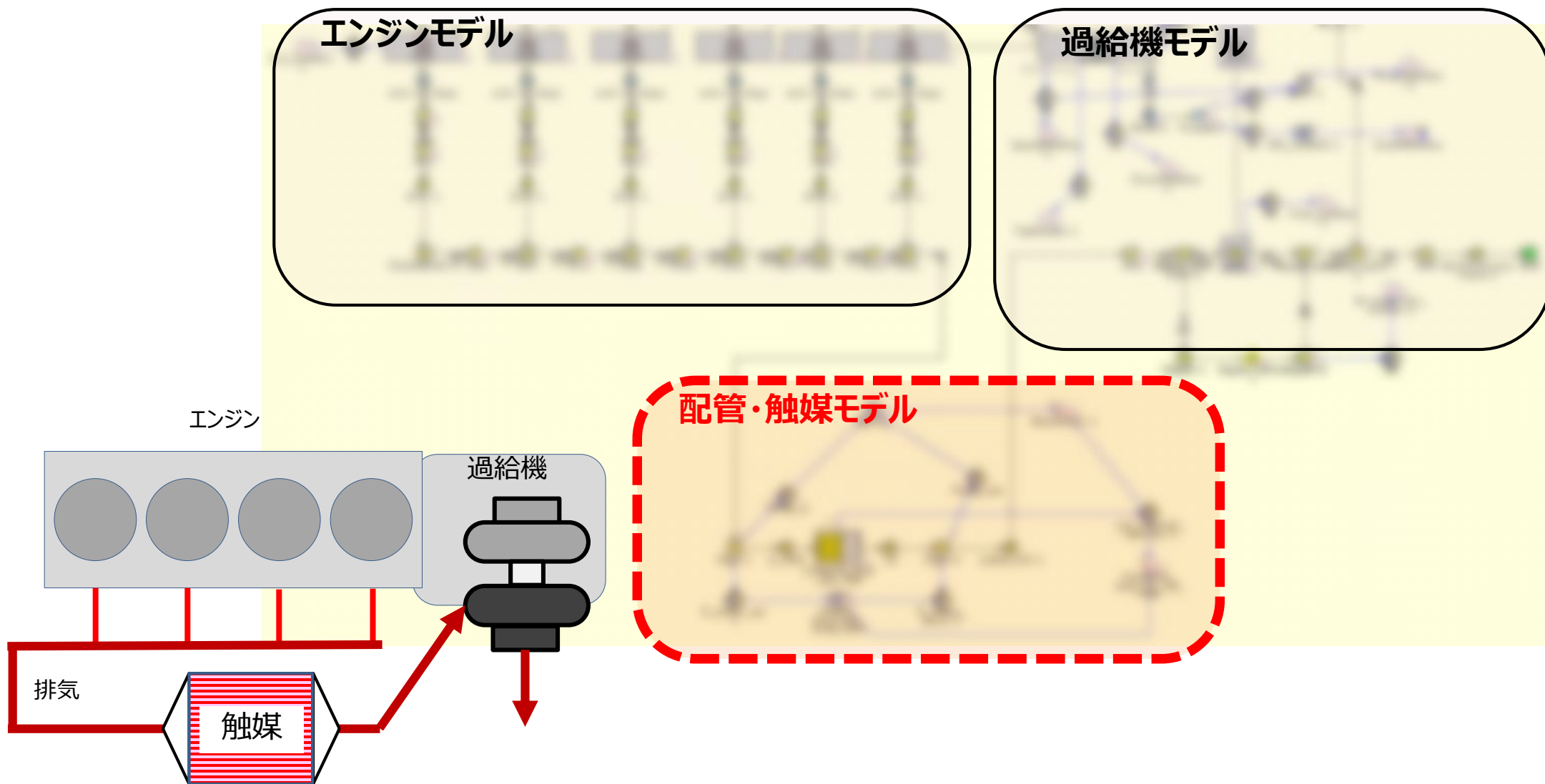
負荷投入によるエンジン回転数の
“瞬時低下率を最小化し、時間内に整定する”
必要がある

検討は1Dシミュレーションツールを用い、評価は現行機関の5段負荷投入とし、負荷投入性の判断基準は、船級ルールに従い行った。

対象	6EY22ALDF ガスモード
使用ソフト	1Dエンジン性能シミュレーション GT-Power
投入負荷	5段投入 ※各負荷を矩形波にて模擬
エンジン回転速度	927 min ⁻¹ (1段目) → 900 min ⁻¹ (5段目)
負荷投入性 判断基準 (船級ルール)	エンジン回転速度 瞬時回転低下 ≤ 10% 整定時間 ≤ 5sec (±1%以内)

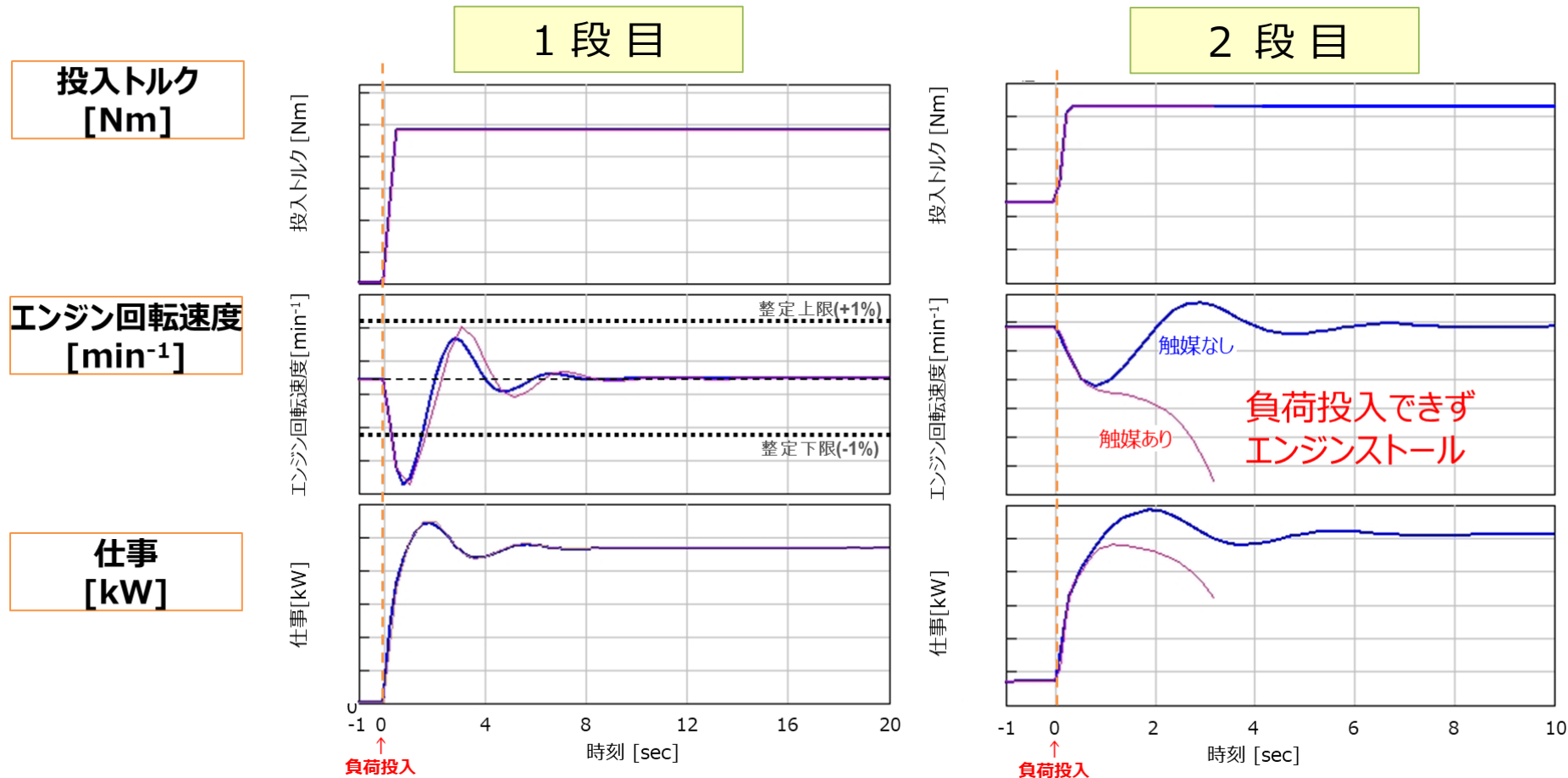
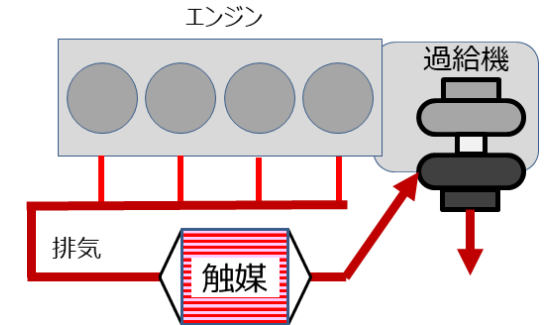


1D性能シミュレーションモデルを構築し 排気マニフォールド出口と過給機の上に、配管、触媒をモデル上に設置し性能検討を実施



過給機“前”に触媒を挿入すると負荷投入性能を満足しない

[1D性能シミュレーションモデルによる負荷投入性能の評価結果]



触媒反応器設置レイアウト 過給機“前”の成立性検討

① 触媒性能の比較

： 高圧・高温下における “過給機前触媒のコンパクト化”

過給機前は触媒サイズの1/3化が可能。

以後、前：SV-30,000 h⁻¹、後：SV-10,000 h⁻¹にて検討

② 搭載性の比較

：“コンパクト化過給機前触媒の搭載性”

過給機までに 容積 219.3L, 熱容量 72.8kJ/Kが追加

③ 負荷追従（投入）性の比較

： 過給機前への配管・触媒設置による“過給機応答遅れによる負荷追従性悪化”

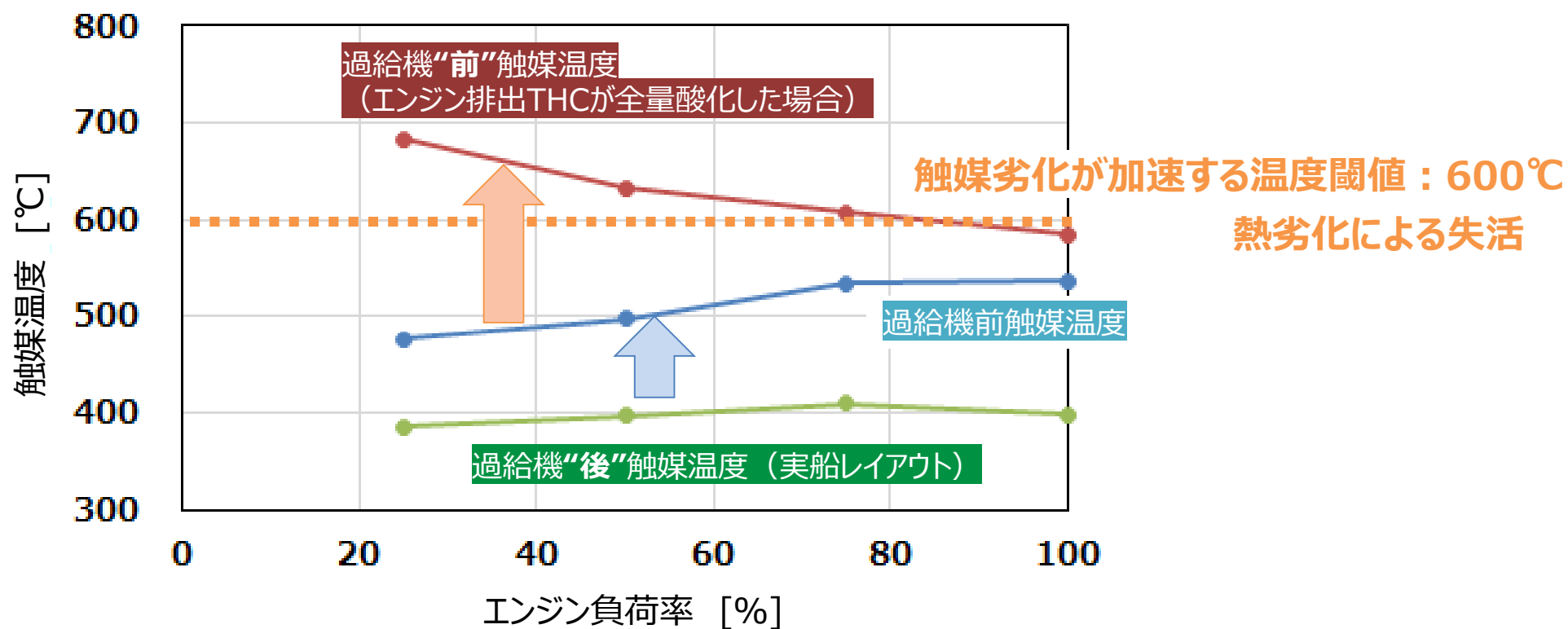
過給機前の容積が増加することにより、負荷追従性は要求性能未達

④ 過給機“前”触媒の信頼性検証

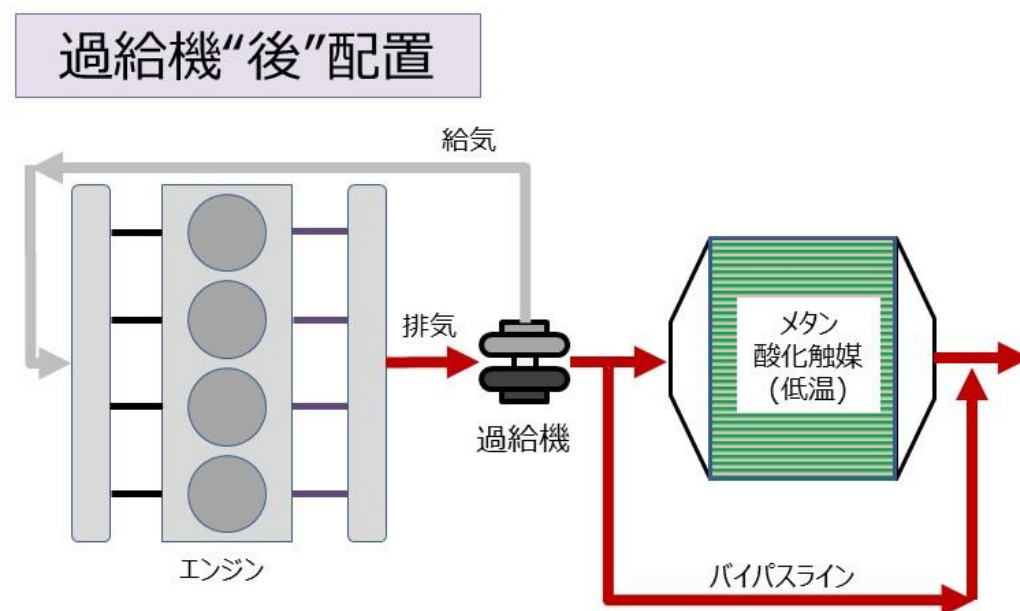
： エンジン排出THCの過給機前触媒での燃焼による過給機“前”触媒の性能への影響

過給機“前”の排ガス温度は高く、機関出口のTHC濃度が多いと
触媒は600℃以上の高温に曝され性能の著しい低下を招く。

過給機“前”の触媒の過昇温リスク

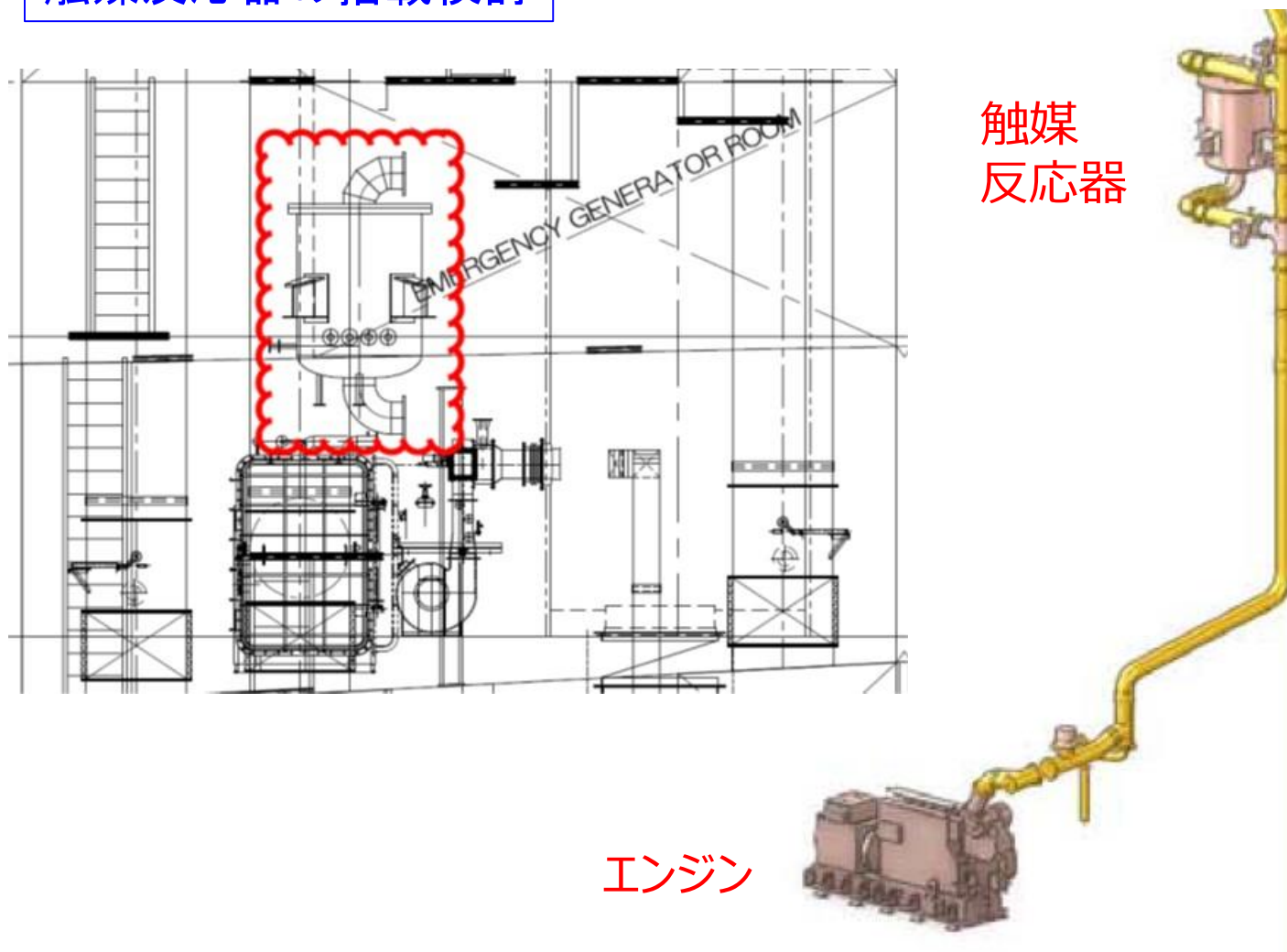


2-3.触媒反応器の過給機“後”配置の実現可能性の検討

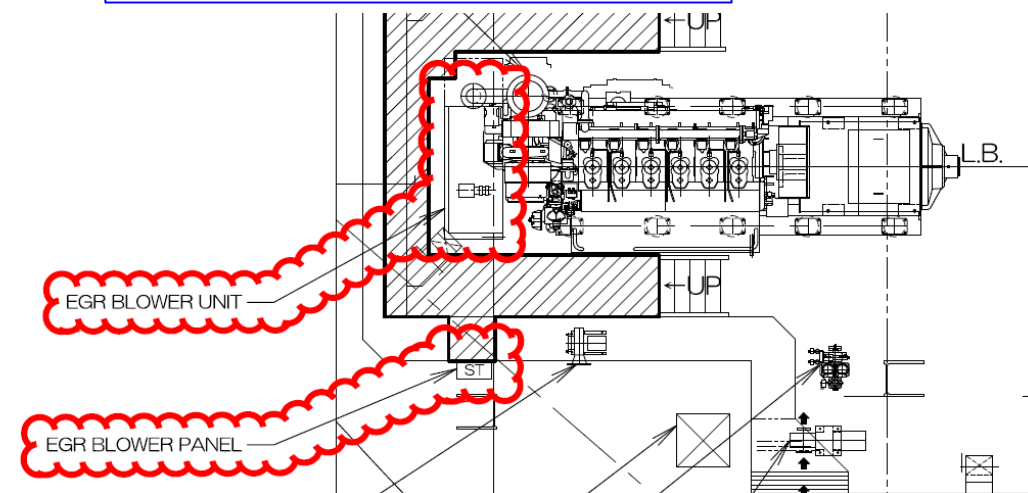


実船実証船での過給機“後”配置でのメタン触媒システムの 搭載可能性を検討し搭載可能であることを確認

触媒反応器の搭載検討



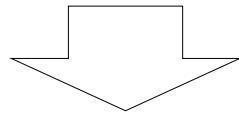
EGRシステムの搭載検討



実船試験での過給機“後”での触媒性能が目標性を達成可否を検討

検討目的

触媒反応器の過給機前設置では、
船用補機関の要求性能を満たすことは現状難しい。



過給機“後”配置、名村造船所殿の実船レイアウトにおいて
目標触媒性能を満たすことが可能であるかを検討。

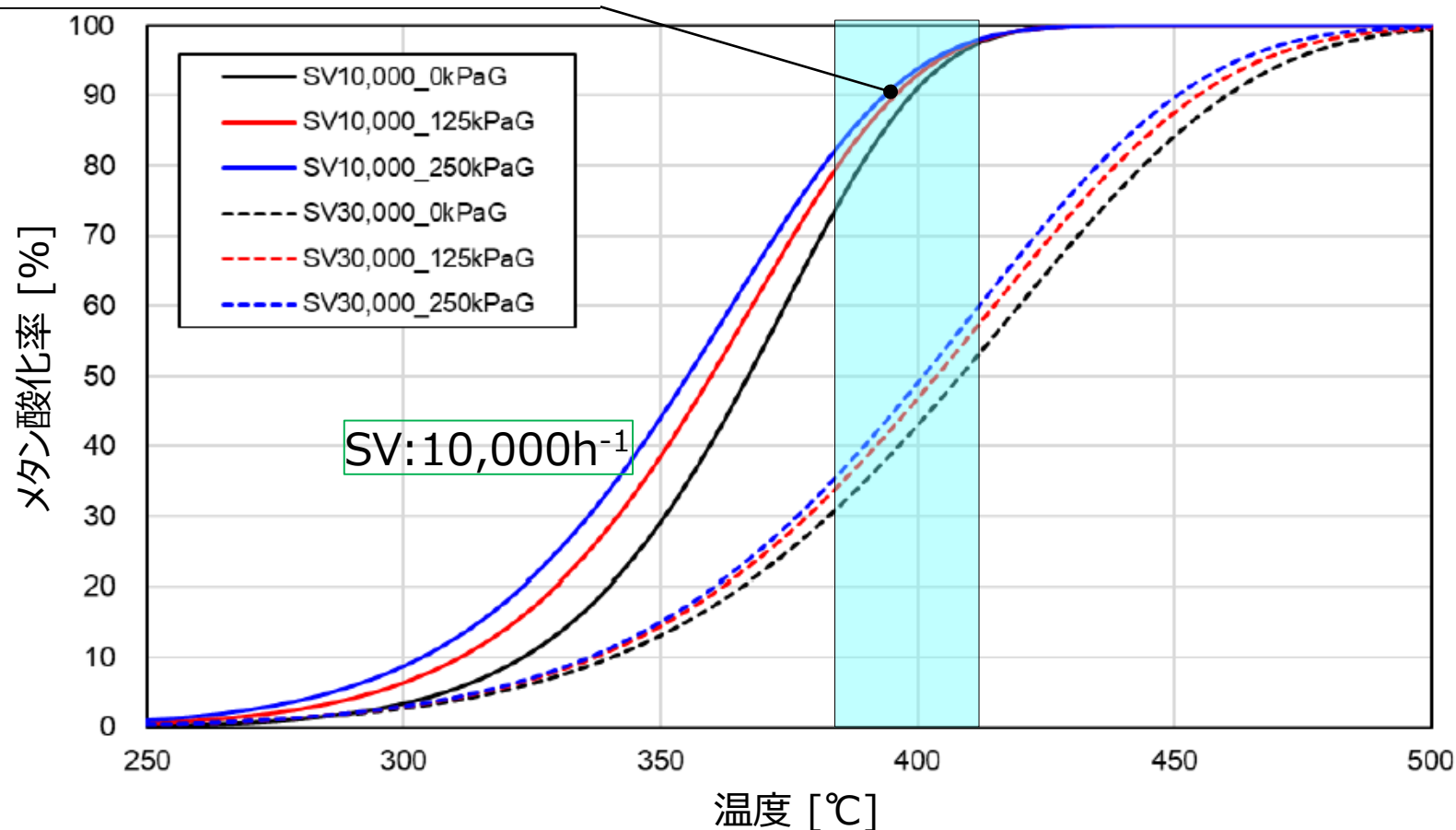


メタン酸化触媒サイズは、過給機“後”：10,000h⁻¹にて検討

今回開発のHitz殿触媒

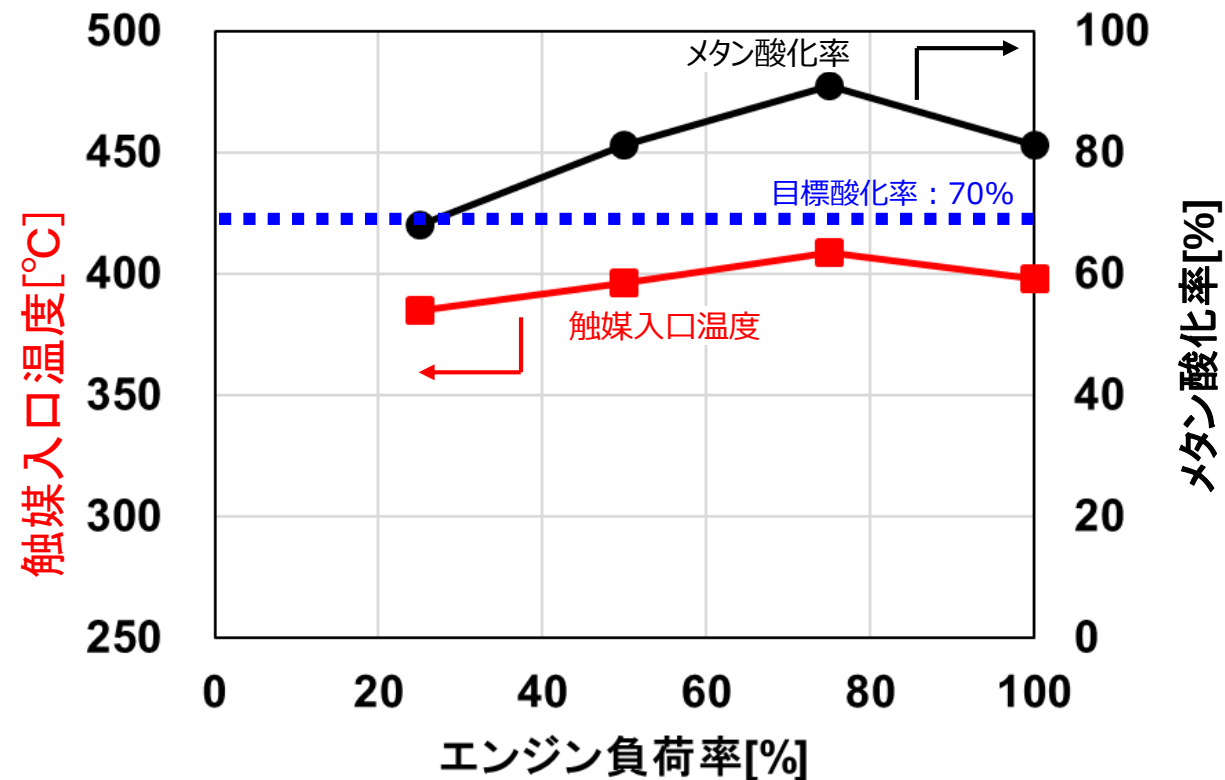
過給機“後”の排ガス温度で
成立する触媒のSVは約**10,000h⁻¹**

過給機“後”
排ガス温度



現行エンジンでも概ね目標酸化率70%を得ることが可能であることを確認

実船レイアウトにおける温度低下を考慮した、触媒入口温度と触媒性能の推定結果



YPT

エンジン排気温度の上昇
「リッチ燃焼 + EGR」

Hitz

触媒性能の改善
「触媒容積、触媒組成の検討」

今後の事業で更なる
改良を進め削減効果を高める

これまでの事業進捗まとめ

エンジン改良による メタンスリップ削減



①単気筒エンジン試験計画



②燃焼,性能シミュレーションモデル構築
触媒の初期性能評価を完了

③EGR機器選定、レイアウト設計



EGR装置のレイアウト設計

触媒による メタンスリップ削減

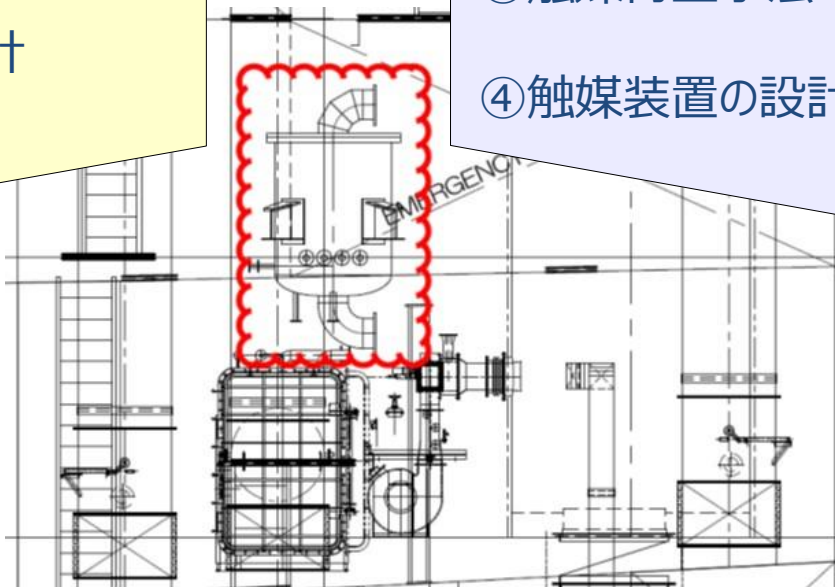


①触媒開発

②触媒要素評価

③触媒再生手法の検討、リスク評価

④触媒装置の設計検討



実船実証船での
触媒装置の搭載設計



株式会社 名村造船所
NAMURA SHIPBUILDING CO.,LTD.

ClassNK

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

Document No.
KB22MK0088
Date: 3 March 2022

APPROVAL IN PRINCIPLE

Methane slip oxidizing device

developed by YANMAR POWER TECHNOLOGY CO., LTD.,

Hitachi Zosen Corporation and Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.

THIS IS TO CERTIFY THAT Approval in Principle is granted to YANMAR POWER TECHNOLOGY CO., LTD., Hitachi Zosen Corporation and Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.

The AIP is for the design concept of the Methane slip oxidizing device, and it is based on "Part GF; Ships using low-flashpoint fuels" of the Society's Rules and Guidance for the Survey and Construction of Steel Ships incorporating "International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code), IMO Res. MSC.391 (95)" and "Part N; Ships carrying liquefied gases in bulk" of the Society's Rules and Guidance incorporating "International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), IMO Res. MSC.548".

The documents/drawings specified in the annex to this letter have been reviewed and it is verified that the basic design of the system is feasible for the intended application.

Conditions on this approval are set out in the Annex to letter KB22MK0088. For final approval of the system, a complete set of documentation is to be approved by the Society in accordance with relevant class rule.

Takeshi Shimada
General Manager of Machinery Department
NIPPON KAIJI KYOKAI

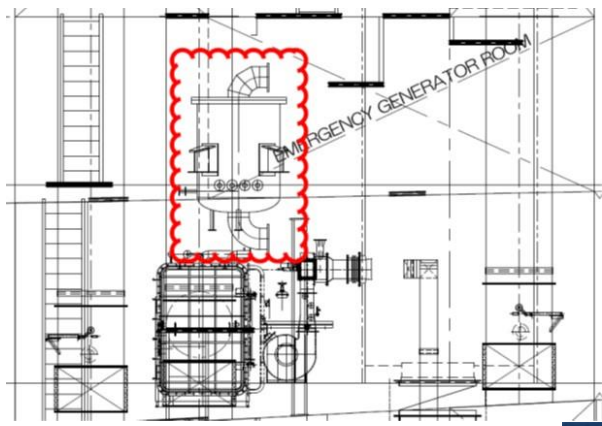
触媒装置の基本設計承認を
NKより取得(2022/3/8)



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

オペレーター目線で実船配置、本船仕様、安全確認作業への関与

- 触媒装置の基本設計承認をNKより取得
- 実船仕様および配置の検討への関与
 - 実船オペレーションを想定した本船仕様の検討
- 実船における安全確認作業(HAZID)の実施
 - オペレータ目線での安全評価



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

実船運用技術の確立、計測、評価の検討

- ・ 実船における安全確認作業(HAZID)の確認・本船仕様への反映

- HAZID結果を本船仕様へ反映

- ・ 洋上での機関改修および触媒搭載についてのスタディ

- 本船就航後の実船運用開始までの必要作業についての検討



- ・ メタン酸化触媒の運用技術の確立

- 発電機の最適負荷調整、触媒再生オペレーションの検討



株式会社 名村造船所
NAMURA SHIPBUILDING CO.,LTD.



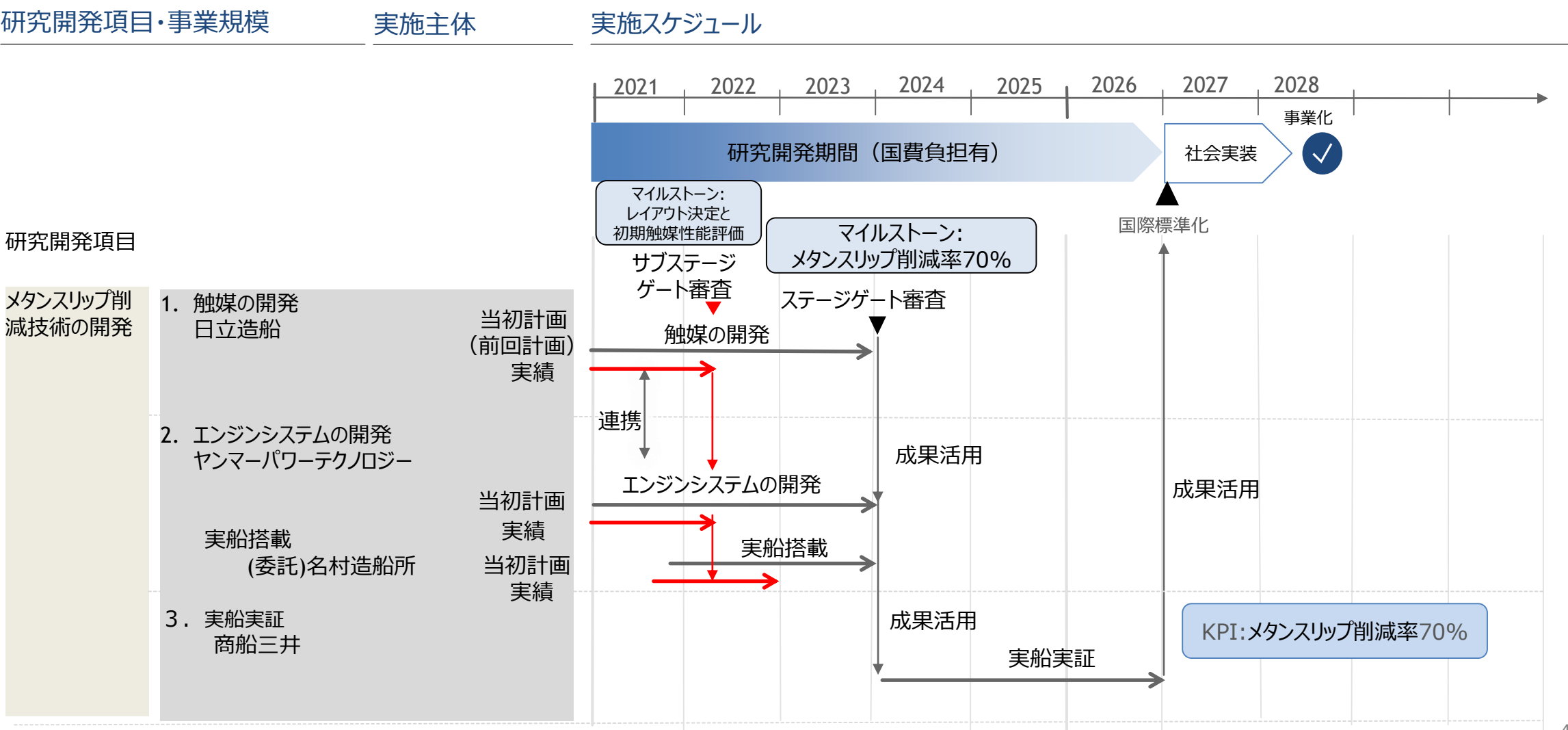
- ・ メタンスリップ計測、評価検討への関与

- コンソ各社と共に計測、評価手法の確立

エム・オー・エル・シップマネジメント株式会社
MOL Ship Management Co., Ltd.

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

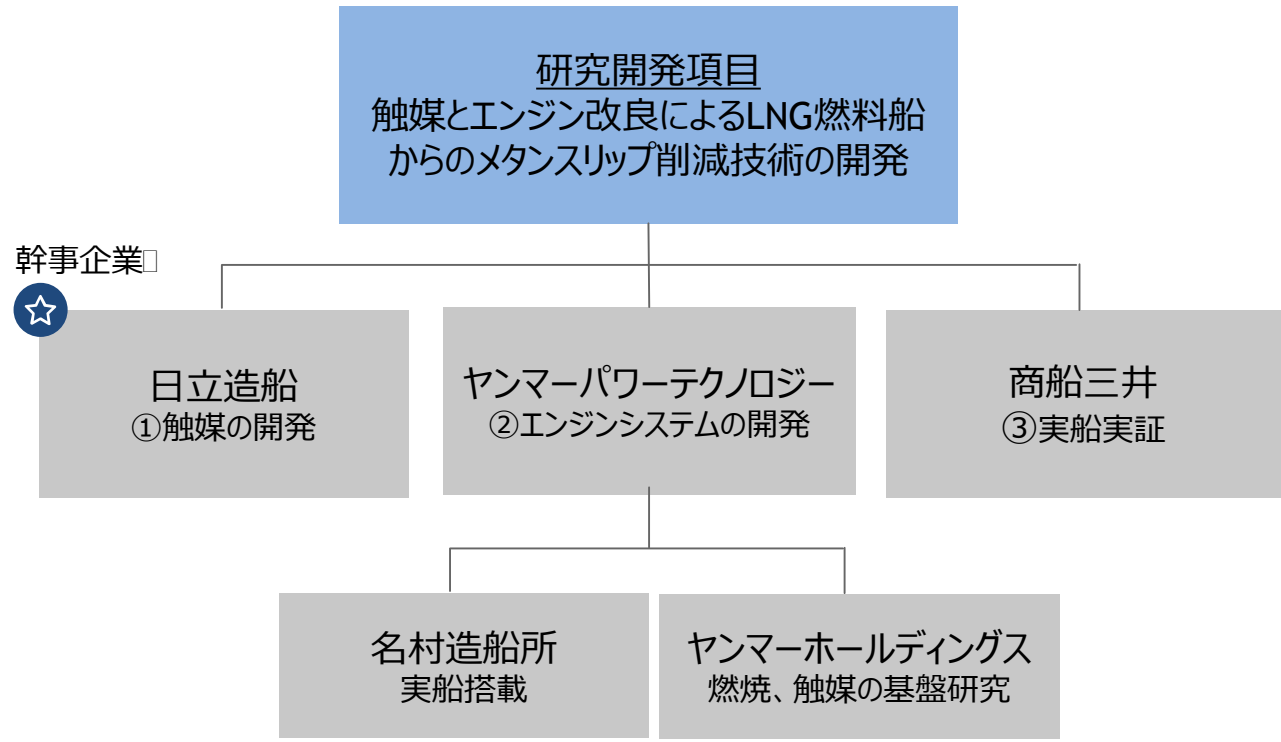
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発の全体の取りまとめは、日立造船が行う
- 日立造船は、触媒の開発を担当する
- ヤンマーパワーテクノロジーは、エンジンシステムの開発を担当する
- 名村造船所は、実船実証のための準備として装置を船へ設置する
- 商船三井は、日立造船の触媒、ヤンマーパワーテクノロジーのエンジンを用いて実船での実証運転を担当する

研究開発における連携方法

- 各社間での定例会にて情報共有し連携してプロジェクトを推進する
- Web会議システムを積極活用し定例会の頻度を上げ連携を高める

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
メタンスリップ削減技術の開発	1. 触媒の開発 - 脱硝触媒の製造技術 https://www.hitachizosen.co.jp/business/field/energy/denitration.html - 船用脱硝触媒装置の製造技術 https://www.hitachizosen.co.jp/business/field/marine/diesel/	→ - 優位性：船用触媒の製品化の知見、国内外への販売実績あり - リスク：4ストロークエンジンへの触媒搭載実績なし
	2. エンジンシステムの開発 - 船用、陸用向けのディーゼル、LNG、DFエンジンを製品ラインナップ - 自社開発の船用脱硝触媒システム	→ - 優位性：多種燃料対応エンジン、脱硝触媒の製品化の技術力と販売実績 - リスク：船用へのメタン酸化触媒の適用実績なし
	3. 実船実証 - 多くのLNG燃料船のオペレーション実績 - 多くの船用脱硝触媒システムのオペレーション実績	→ - 優位性：多種燃料対応エンジン、脱硝触媒のオペレーションノウハウと実績 - リスク：メタン酸化触媒の適用実績なし

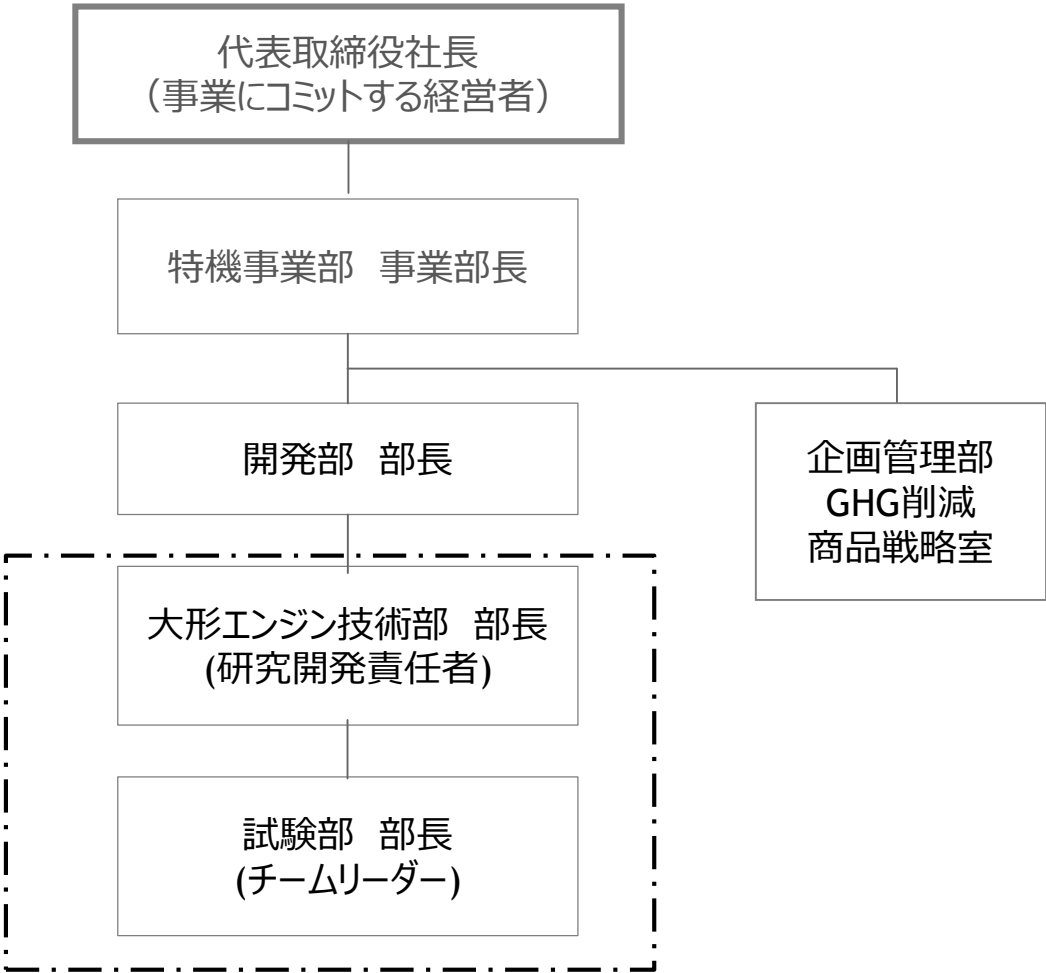
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
大形エンジン技術部 部長：船用4ストロークディーゼル・DFエンジン, SCRの開発等の実績
- チームリーダー
試験部 部長：船用4ストロークディーゼル・DFエンジン, SCRの開発等の実績
- 担当チーム
開発部
 - 大形エンジン技術部：エンジン設計を担当
 - 試験部：ベンチ, 実船での評価を担当
 - アプリケーション技術部：実船搭載を担当
 - 先行技術部：触媒の開発を担当

GHG削減商品戦略室の新設

- カーボンニュートラル・ゼロエミッションの実現に向けた事業の立ち上げ、及び方針策定
- 標準化戦略の立案・遂行

部門間の連携方法

- 事業部内で月1回を目処に定期報告を実施
- PJチームによる定期ミーティング

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目 ①経営者等の事業への関与

経営者等による本事業への関与の方針

経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
 - 「A SUSTAINABLE FUTURE」をブランドステートメントに掲げ持続可能な社会の実現を目指し、脱炭素社会の実現に貢献すべく、ソリューション提案を以前から推進。
消化ガスを活用したバイオガス発電や、舶用水素燃料電池システムの実証試験を実施中。22年4月にはモジュール型バッテリーシステムを販売するELEO Technologies B.V.(本社：オランダ)を買収。
「A SUSTAINABLE FUTURE –テクノロジーで、新しい豊かさへ。」というブランドステートメントを掲げ、「人間の豊かさ」と「自然の豊かさ」とを両立したものを「新しい豊かさ」と位置付けている。
我々はお客様の課題を解決するとともに、未来に向けて人間と自然が共生するための社会的責任を担っている。この責任を果たすための指標の一つとして、ヤンマーは「グループ環境ビジョン2030」を掲げ、ホームページ上でも明示。2025年度に向けた中長期での5つの戦略課題の1つとして「循環する資源を元にした環境負荷フリー・GHGフリー企業への挑戦」を掲げ、「YANMAR GREEN CHALLENGE2050」を設定し、各事業・コーポレートでの対応を加速。
- 事業のモニタリング・管理
 - 事業運営・管理体制
公的研究費を活用して実施する補助事業等の運営・管理を適正に行うため、最高管理責任者の下、補助事業統括、推進管理、事業推進、内部監査それぞれの責任者を設定。

- 経営層の指示
経営層（最高管理責任者）への進捗報告、事業推進に関する監査を定期的実施する仕組みを社内規程として制定している。
- 社内外からの意見取り込み
全体では、弊社グループ内の研究部門の他、大学や社外の協力会社等より、幅広い意見を取り入れられる体制とし、事業を推進する。

経営者等の評価・報酬への反映

- 2021年度YPT特機事業中期ローリングにおける重点戦略テーマの1テーマとして「カーボンニュートラル拡大に向けた多燃料パワーソース獲得」を設定。中期事業戦略でのローリング、2022年度YPT特機事業部方針の重点課題としての設定し、月例会議にて進捗を報告・管理。
重点課題の達成度は事業部の評価項目となっており、事業の進捗状況が事業部長の評価に反映される仕組みとなっている。

事業の継続性確保の取組

- 2021年度YPT特機事業中期ローリングにおける重点戦略テーマに位置づけしており、機能別戦略として具体的なアクションプランを作成。
作成された資料は中期関連資料として、関連部門長で共有済み。
事業部長の引継ぎ用資料の一項目として中期事業戦略は扱われるため、着実に引継ぎが実施される体制を担保している。

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目 ②経営戦略における事業の位置づけ

経営戦略の中核において特機事業を位置づけ、広く情報発信

取締役会等での議論

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
 - 2021年度ヤンマーグループ中期戦略立案方針において、長期的に目指す姿の一つとして「循環する資源を元にした環境負荷フリー・G H Gフリーの企業になる」が掲げられ、グループとして脱炭素戦略を作成。
- 事業戦略・事業計画の決議・変更
 - YPT特機事業としてカーボンニュートラル実現に向けた商品ロードマップ、研究開発費・投資計画を策定。ヤンマーホールディングス(株)の中期戦略レビューで上申・決議を行い（グループ戦略会議で議論し）承認済み。
 - ヤンマーホールディングス主催の月次事業報告会にて、重点課題であるカーボンニュートラルへの対応進捗の報告を実施中
 - 中期事業戦略立案の中で、関連部門長と情報共有。中期事業戦略策定完了後は、YPT内での同啓蒙活動を実施済み。
- 決議事項と研究開発計画の関係
 - 中期事業戦略として、商品ロードマップ、商品化スケジュール、投融資、研究開発費を明示した上で、戦略に重点課題として織込みの上、2022年度方針として展開中。

ステークホルダーに対する公表・説明

- 情報開示の方法
 - 現在策定中のグループ全体を包括する脱炭素戦略の中でグループ水素戦略を立案済み。取り組みを加速。
 - ヤンマーグループのブランドステートメント「A SUSTAINABLE FUTURE」の実現に向けた取り組みとして、CSR報告書等により適宜推進事項を開示中。
 - GI基金採択はプレスリリースにて公表済み。(2021年10月26・27日)
- ステークホルダーへの説明
 - 非上場であるため、投資家への説明予定はないが、金融機関等のステークホルダーに対しては説明を実施。
(2022年株式会社日本政策投資銀行のDBJ環境格付けにおいて“最高ランクA”を取得済) Aランク格付けは17年連続
 - 定期的に行っている取引先への事業状況説明の場で大きな方向性については、説明を実施済み。

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目 ③事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
 - 事業の進捗状況や事業環境の変化を踏まえ、必要に応じて、開発体制や手法等の見直し、追加的なリソース投入等を行う準備・体制（現場への権限委譲等）を準備する
 - 目標達成に必要であれば、躊躇なく大学等の研究機関を活用する
 - 顧客である運航会社・造船所と共同でプロジェクトを推進することにより、開発状況を定期的に確認する。
- 人材・設備・資金の投入方針
 - 現在の開発部員からDFエンジンや触媒の知見を持つメンバーを選抜
 - LNGエンジンの増産に向けて生産設備増強を実施
 - 短期的な経営指標に左右されず、資源投入を継続する

専門部署の設置

- 専門部署の設置
 - 開発部として重点テーマとして取組み専門部署は設置しない
 - 事業環境の変化に合わせて、産業アーキテクチャや自社のビジネスモデルを不断に検証する体制を構築する
 - GHG削減商品戦略室の新設
2022年9月に標準化戦略の立案・推進を任務とする部門を新設。
- 若手人材の育成
 - 中堅・若手社員を中心に開発チームを結成し、育成機会を提供
 - 今回のプロジェクトを通じて、触媒メーカー、造船所、船社とのコラボレーションの機会を活用し、社外技術者との交流の場を設け、視野を広げる

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、下記等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術におけるリスクと対応）	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
- 開発目標未達による遅延のリスク → 2024年頃にステージゲートを設けて判断 → 触媒側とエンジン側でお互いの技術を補完	- 建造遅延による実船の手配遅延リスク → 進捗確認にて、計画を管理する	- コロナ禍による機器手配遅延のリスク → 判明次第、関係各所へ連絡スケジュールを立て直す - 台風、落雷による停電 → バックアップ電源準備する



- 事業中止の判断基準：
 - ・ 実船実証にあたり、船の運航に影響を与えることが判明した場合、対策を講じても改善が見られない場合、対策案が尽きた場合に中止する