

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：インキュベーション研究開発＋実用化開発

微細気泡による船用内燃機関燃費改善装置の開発

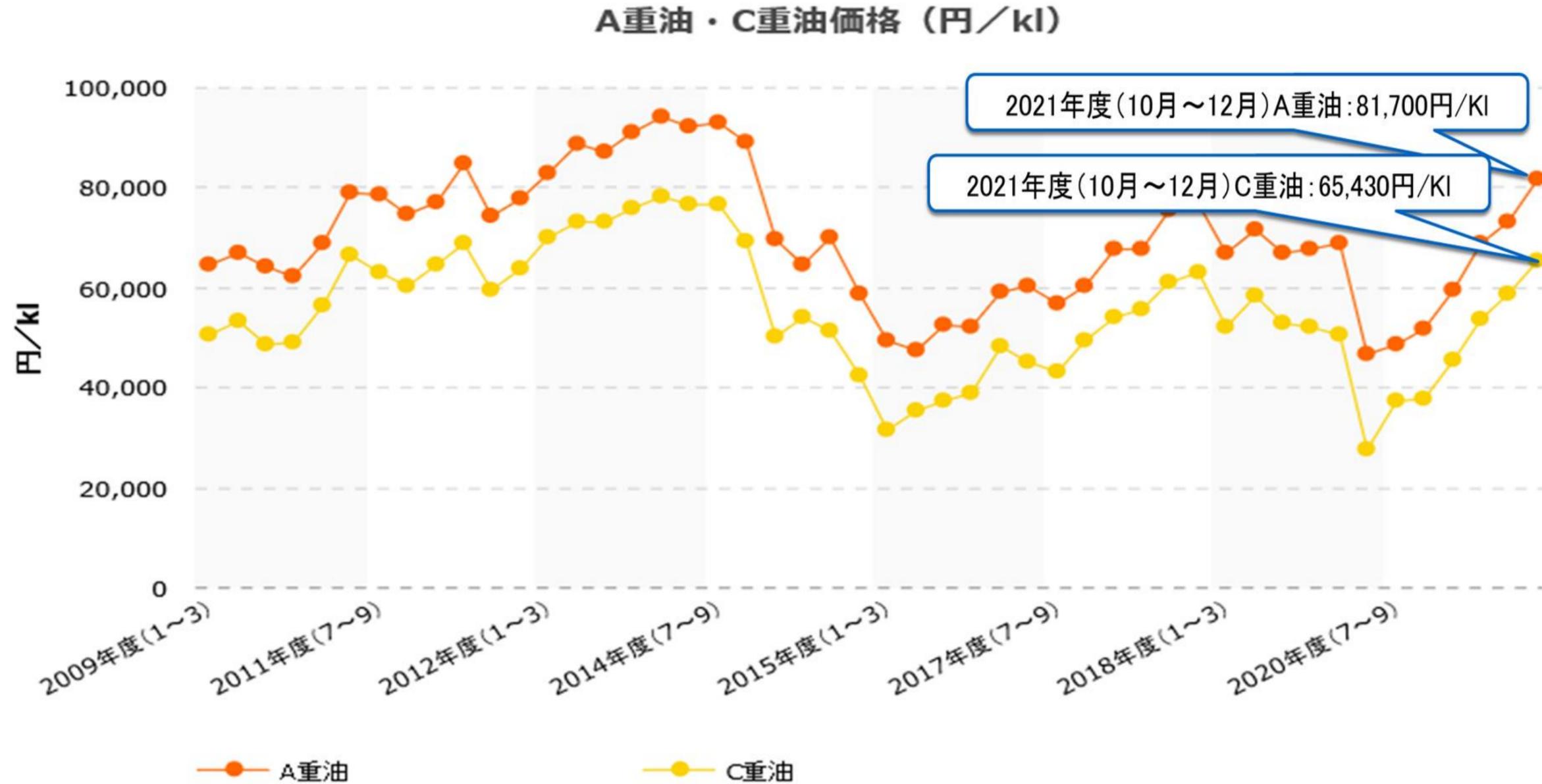
プロジェクト実施者： 三井造船特機エンジニアリング株式会社

プロジェクト実施期間： 2018年7月～2021年9月



1-1. 背景

重油価格の推移



出典：新電力ネット

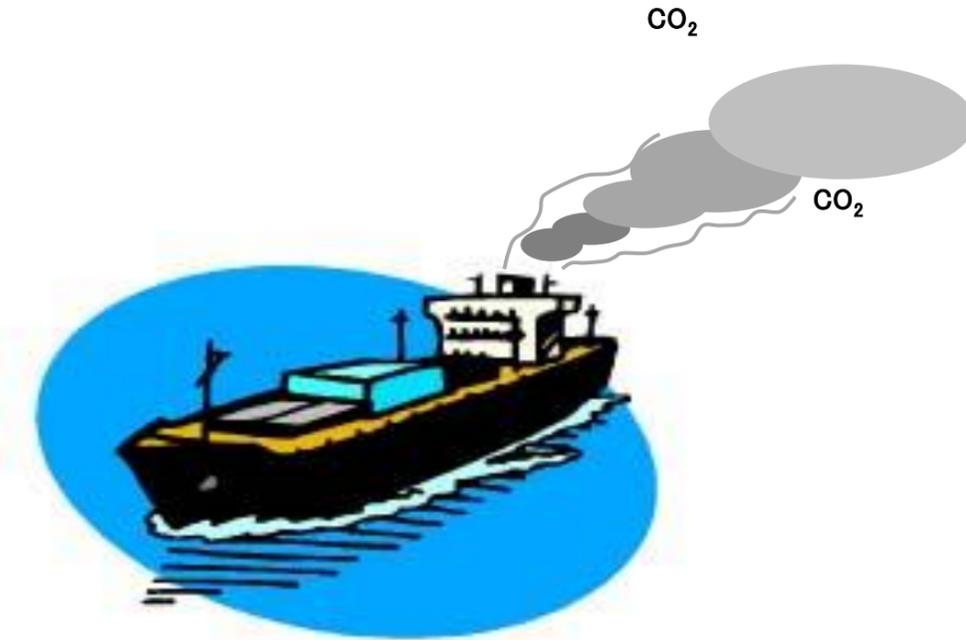
1.1. 狙う市場とその状況, 課題

海運は我が国の国民経済を支える基盤

外航船約3,000隻, 内航船約5,000隻

燃料(C重油)は大きなコストウエイト ⇒ 海運業界の**大きな課題**

1%でも削減したいという海運会社の声 ⇒ **本開発開始**



1.2. 国内外の既存技術

船体の開発

プロペラ開発

エンジン開発

⇒ 多数実施

船体摩擦抵抗低減

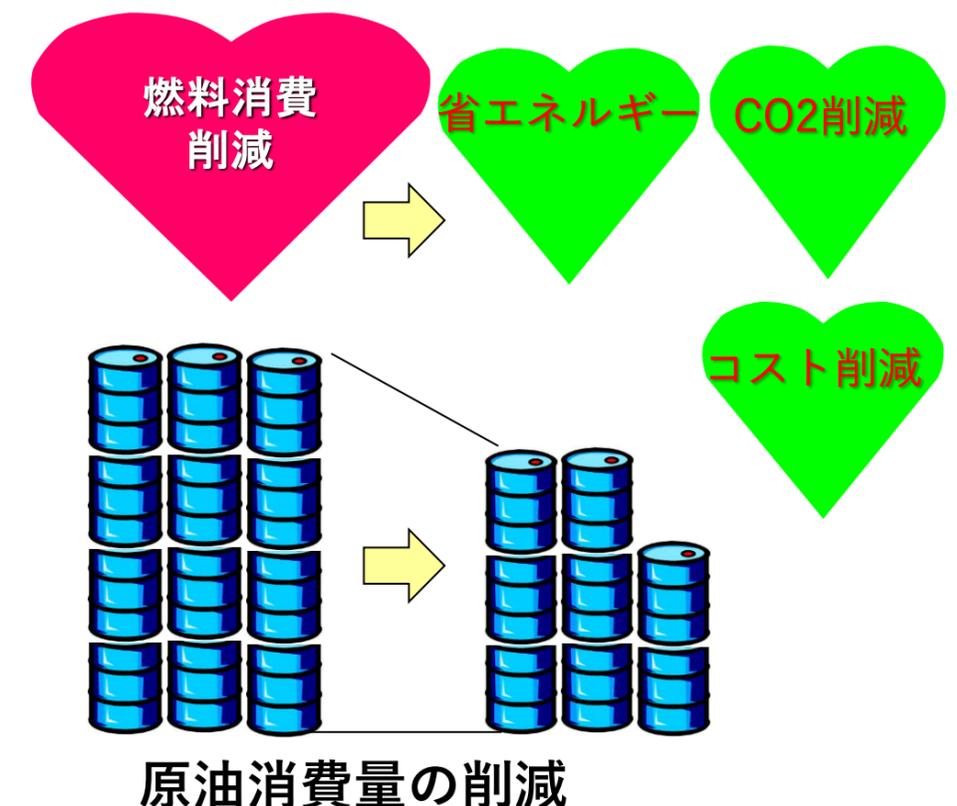
⇒ 未だ確立に至らず

燃料添加剤

⇒ 効果発揮できず

1.3. 提案技術の概要

- ・ 燃料中に**微細気泡**を混入
- ・ 燃料供給系統やエンジンの**改造が不要**
- ・ 単純な構成の装置で, **容易にアドオン可能**
- ・ きわめて**小さな動力**で稼働



1-2課題・目的

ファインバブルの技術応用は様々な分野で実績多数

農業分野
農作物育成

水産分野
魚介類の養殖

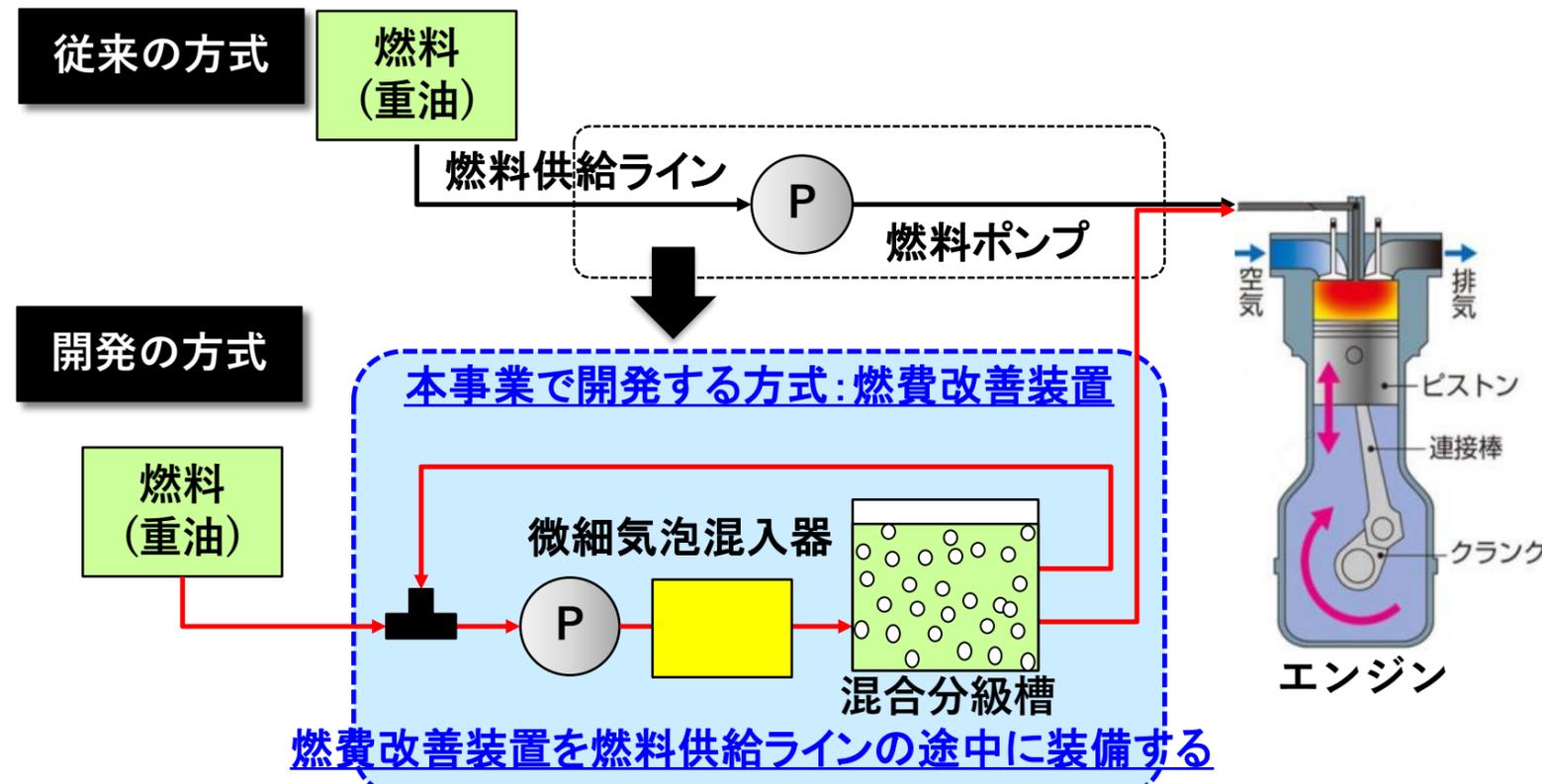
食品分野
殺菌・鮮度保持

洗浄分野
殺菌・水処理

医療分野
生理活性

内燃機関 ⇒ほとんど実績なし C重油では皆無

- 対象船舶：
- ・古い年式の1/3は中古転売対象（本技術搭載要求が低い）
 - ・新しい年式の1/3は、電子制御等効率改善されている（本技術は当面不要）
 - ・**残りの1/3の外航船約1000隻、内航船約1500隻を対象と想定**



陸上用内燃機関への転用も可能
⇒波及効果は極めて大

1-2.課題・目的

小型ラボエンジンで事前に軽油による試験を実施した結果を踏まえ

重油での開発課題は、

- a. 混入器の開発策定
- b. 微細気泡のサイズ・量の策定
- c. 分級槽の開発
- d. 微細気泡計測法の策定
- e. 内燃機関での性能評価

更に

- f. 高温(150°C), 高圧(10気圧)条件下での同課題

インキュベーション
研究開発
実用化開発



ラボエンジン試験機(12kW)



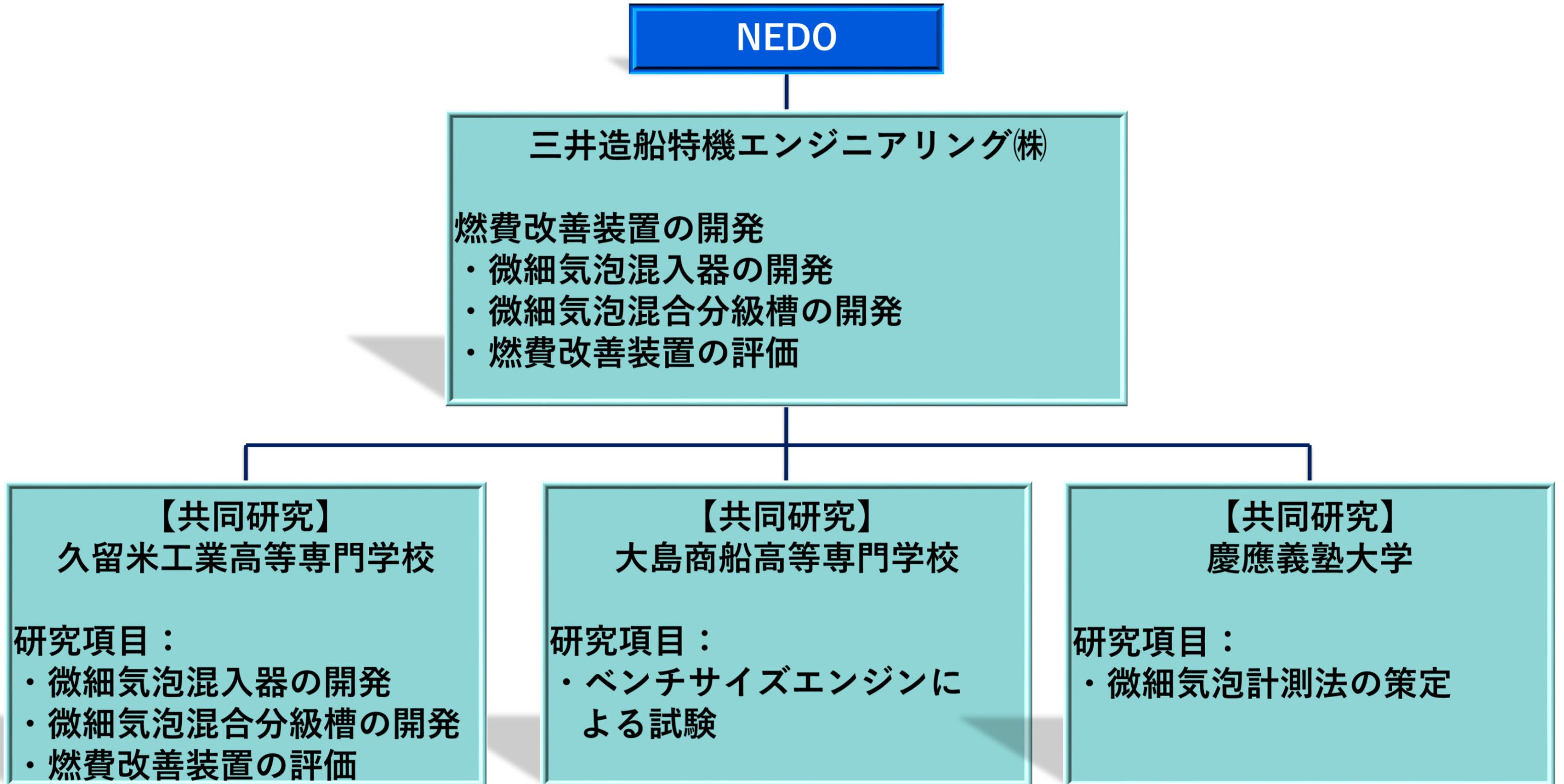
ベンチエンジン試験機(257kW)



大型エンジン試験機(7460kW)

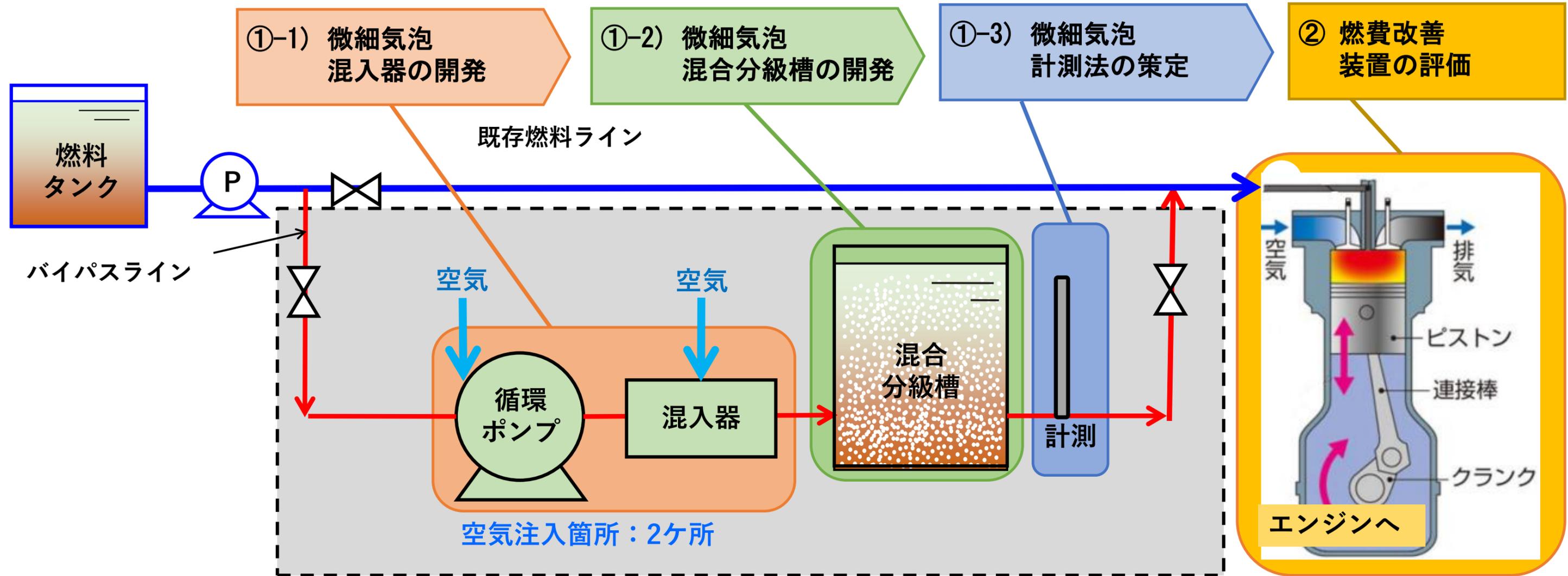
事業目標

全体目標（主目標）	達成目標（値）と設定理由	開発当時の技術レベル
船用内燃機関燃費改善装置の開発	燃費5%改善 理由：過去小型ディーゼル機関で6～11%改善。大型で若干下がると想定して5%と設定	微細気泡混入器、分級槽、計測法などが明らかではなかった
研究課題目標	達成目標（値）と設定理由	開発当時の技術レベル
①-1) 微細気泡混入器の開発	<ul style="list-style-type: none"> 平均気泡径40μm 理由：合泡を避ける為100 μ m以下の分布を考慮 <ul style="list-style-type: none"> 気泡個数3×10^6個/ml以上 理由：浮上分級を考慮	混入器の種類や方式等が不明であった 十数種類の混入器を比較することから始めた
①-2) 微細気泡混合分級槽の開発	<ul style="list-style-type: none"> 約100μm以上の気泡を除去 理由：合泡によるエアガミ現象を避ける為 平均気泡40 μ mボイド率5% <ul style="list-style-type: none"> 気泡個数1.5×10^6個/ml以上 	分級槽の形式や大きさ等が全く不明であった。流体シミュレーションを行うことから始めた
①-3) 微細気泡計測法の策定	<ul style="list-style-type: none"> 微細気泡を計測できる計測法の開発 理由：色濃度の高い液体中での気泡の計測が必要である	重油中の気泡を計測できるものが不明。入手可能な計測器、計測方法の調査から始めた
②燃費改善装置の評価	燃費改善率5%	重油に微細気泡を混入した内燃機関での実績がなかった



- ①-1) 微細気泡混入器の開発 多量の気泡径、気泡数を**混入**
- ①-2) 微細気泡混合分級槽の開発 最適な気泡径、気泡数に**分級**
- ①-3) 微細気泡計測法の策定 重油中の気泡**計測**
- ② 燃費改善装置の評価 **燃費改善率 5%**

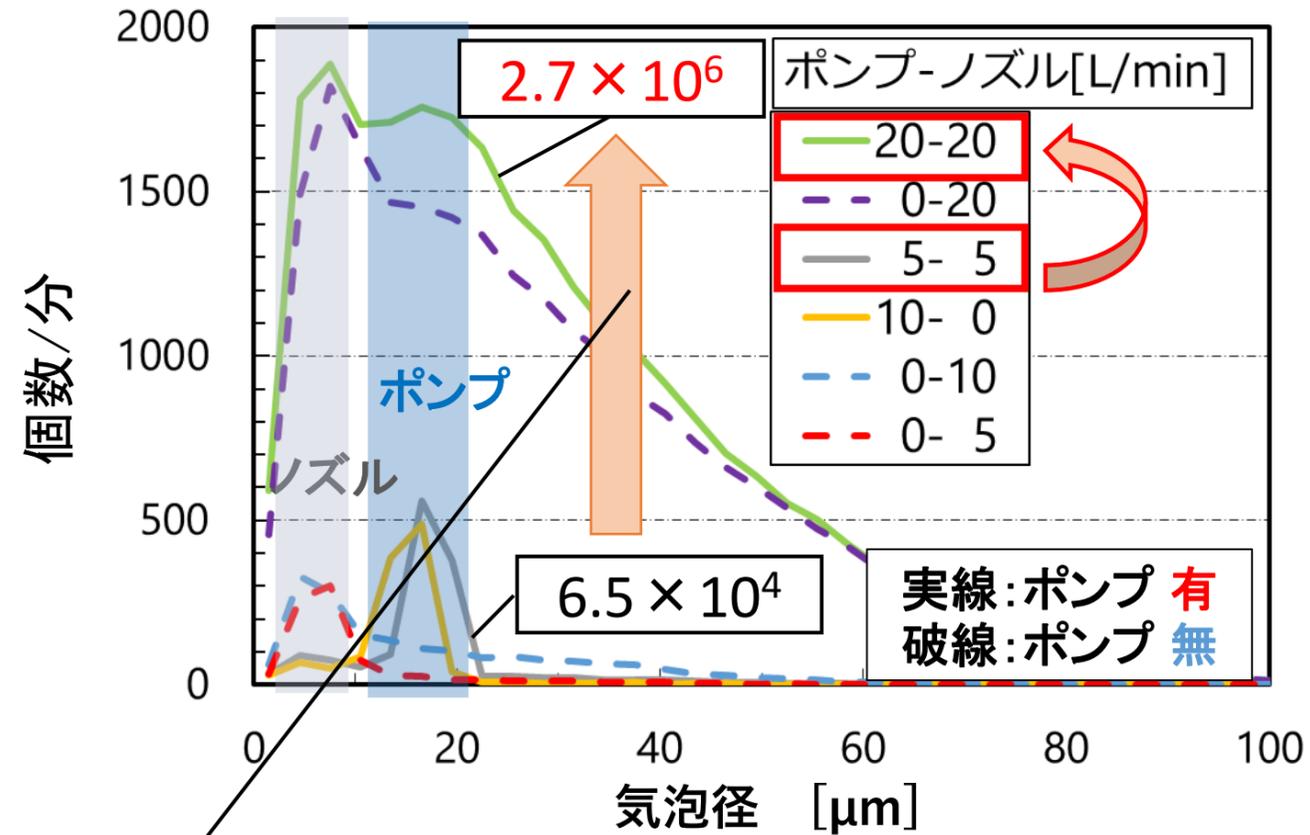
- ・大型エンジンは条例等により陸上でC重油を使えないので通例によりA重油で試験
- ・ベンチエンジンはC重油で実施



ファインバブル混入装置

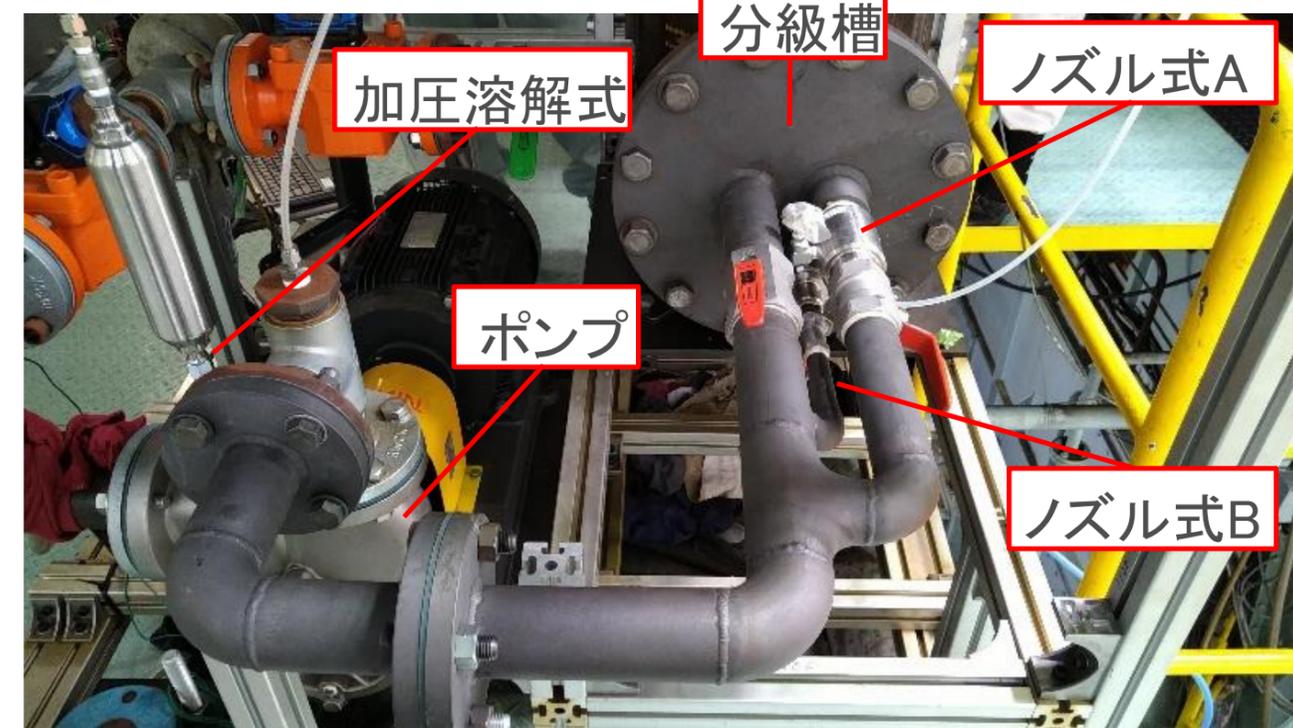
①-1) 微細気泡混入器の開発

加圧溶解式（ポンプ吸込部）とノズル式への空気混入量を変化させて気泡径、気泡数を計測



ポンプとノズルへの空気混入量を増加することで気泡数を増加

大型試験装置への設置

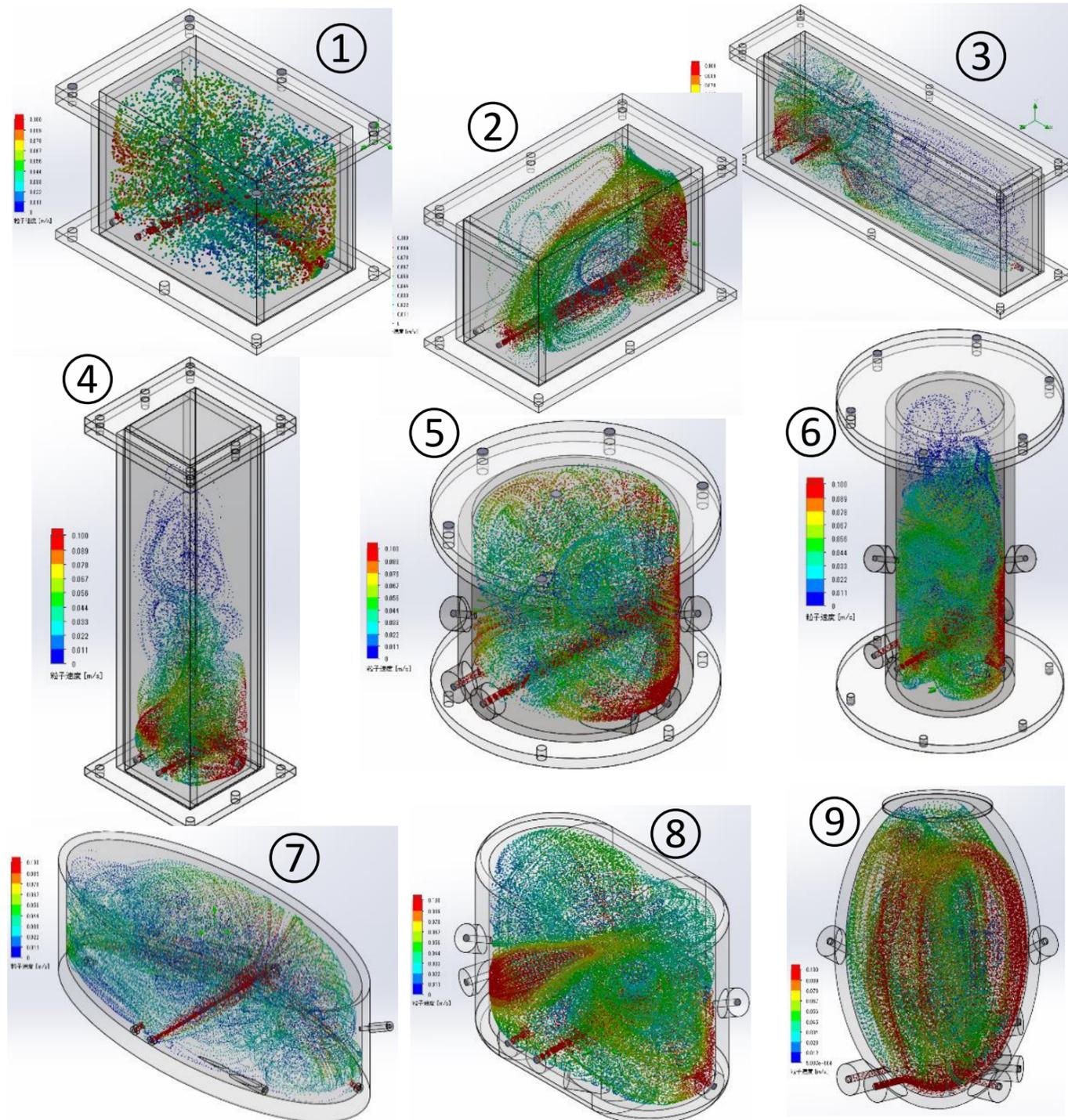


加圧溶解式とノズル式を併用

検討の結果、循環ポンプとして使用可能なニクニ製加圧溶解式とノズルタイプのOKエンジニアリング製を併用

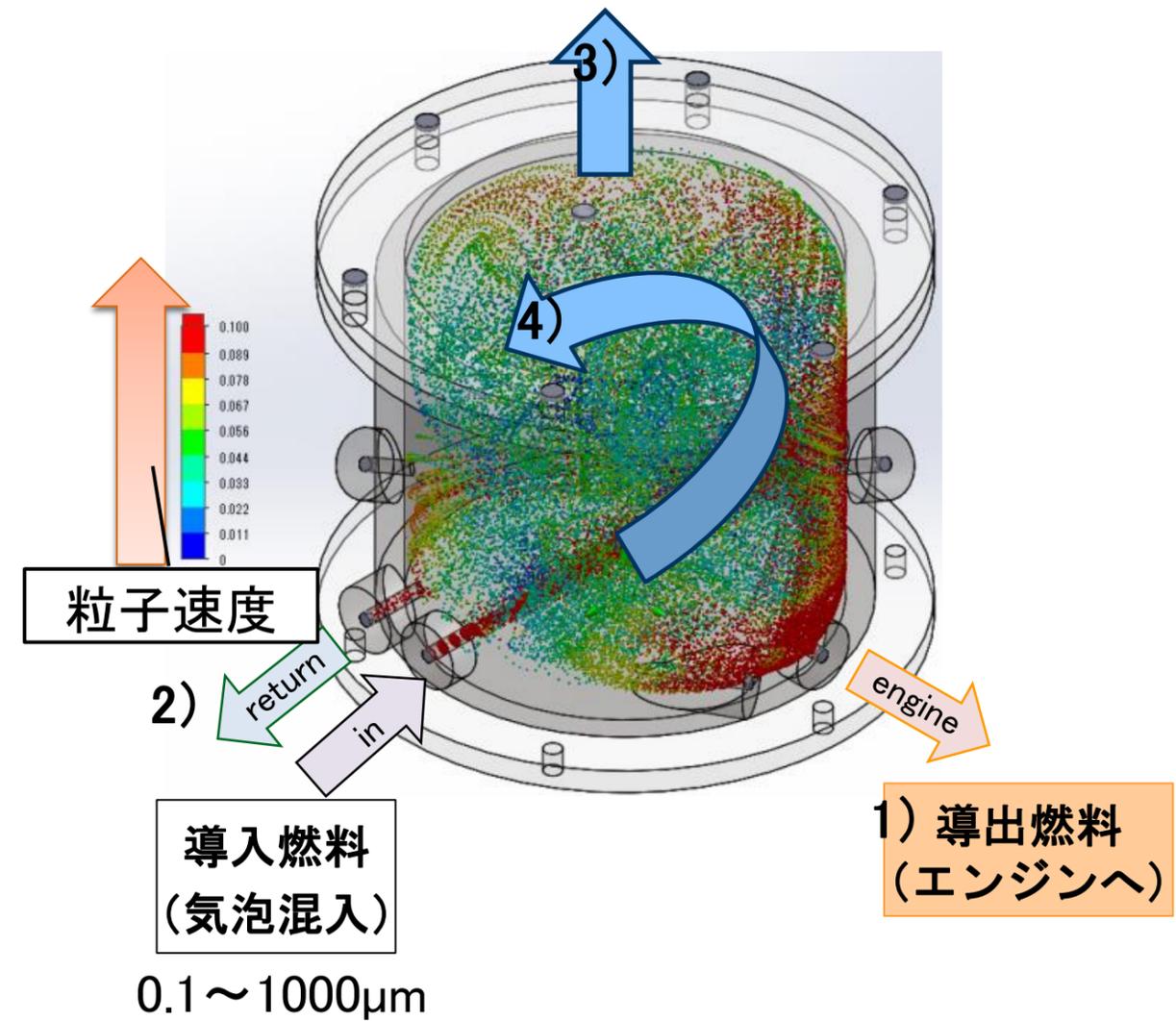
①-1) 微細気泡混入器の開発 最終目標：平均気泡径40μm、気泡数3 × 10⁶個/ml 以上：【達成】

気泡流動シミュレーション (混入器側から様々な気泡径を流動させて経路を追跡)



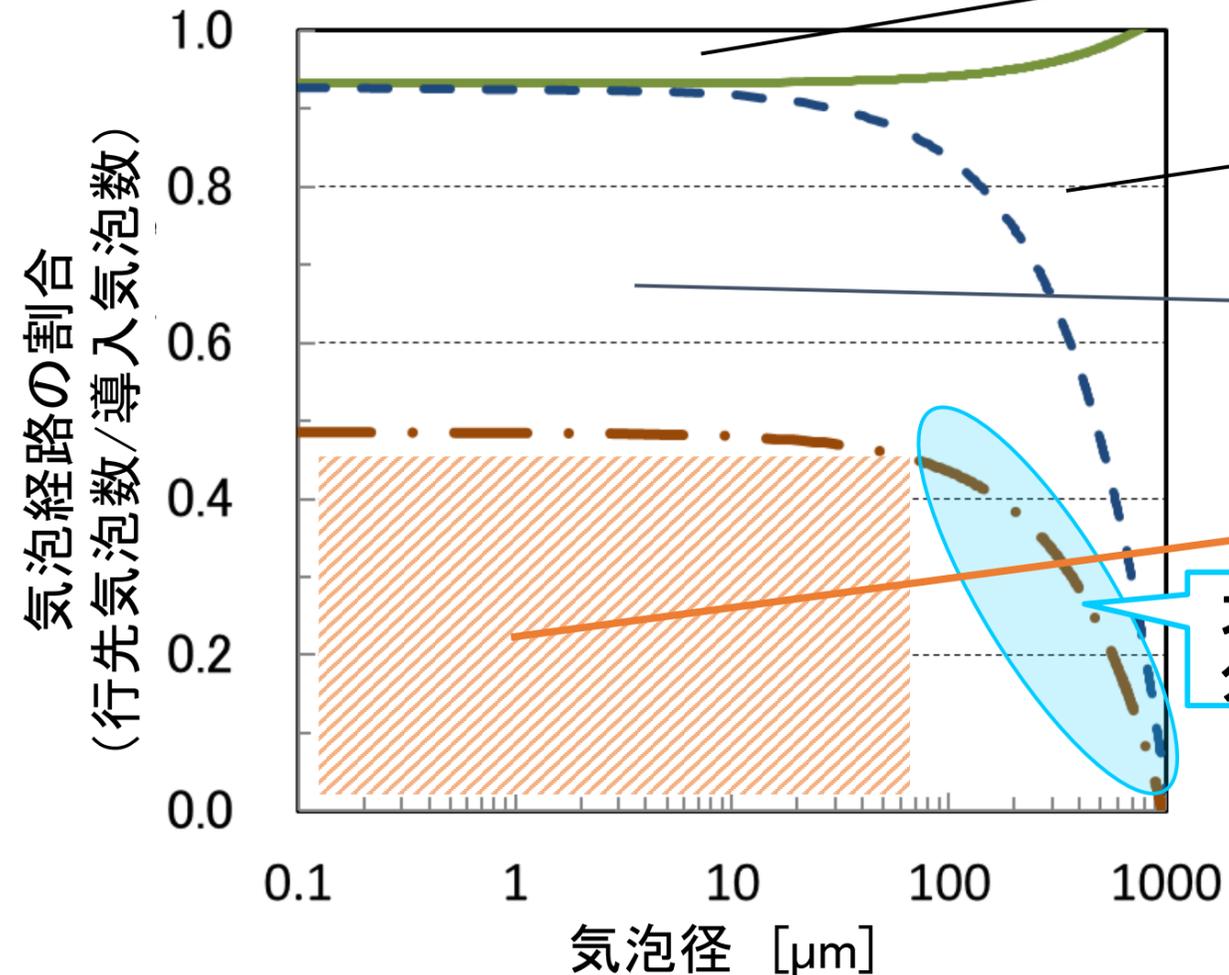
分級槽の形状、燃料導入口・導出口の位置を変えて、**気泡の経路を解析**

- 1) **エンジン**燃料管
- 2) **ポンプ**ヘリターン
- 3) **浮上**分離
- 4) 分級槽**内部**流動



気泡経路の結果：

横軸は気泡径、縦軸は気泡経路の割合を示す



4) 分級槽**内部流動**
混合分級槽内に留まっている気泡

3) **浮上分離**
浮上分離された気泡

2) **ポンプへリターン**
微細気泡混入装置へ戻る気泡

1) **エンジン燃料管**

大径気泡の
分級が良好

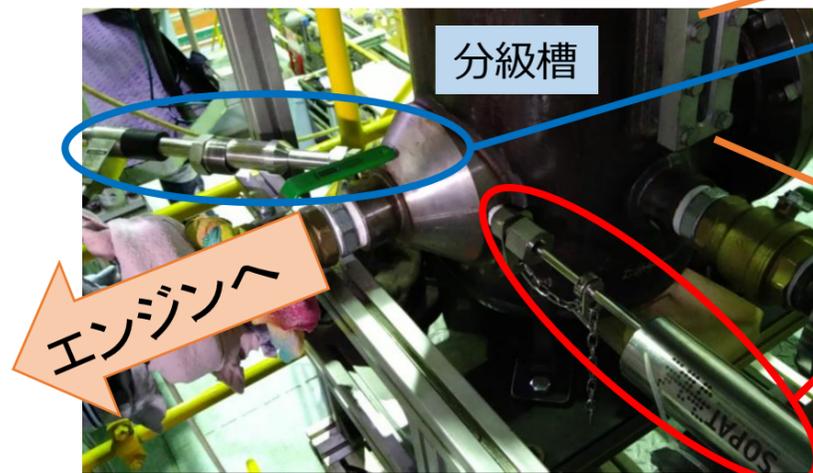
分級槽に導入された**100 μ m程以下の
約半数の気泡はエンジン燃料ライン**へ導出される

気泡シミュレーションの結果：気泡の経路は**分級槽の形に依存せず**、分級槽の燃料導出口を導入口の対面に位置することで、導入された**100 μ m以下の気泡の約半分**がエンジン燃料ラインへ導出される

①-2) 微細気泡混合分級槽の開発

最終目標：平均気泡径40 μ m、ボイド率5%、
出口気泡数 **1.5×10^6 個/ml以上** 【達成】

- ・微細気泡の計測は水や軽油では実績あり
- ・燃料管内でのインライン計測



エンジンへ

分級槽

FBRM

レーザー式：
リアルタイム計測用

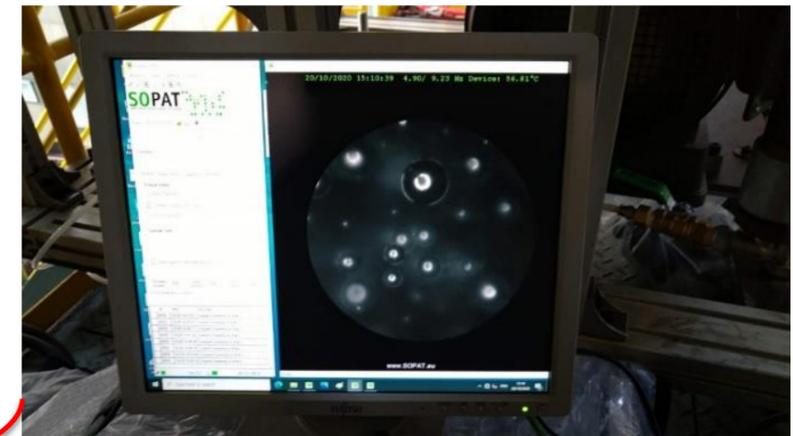
SOPAT

内視鏡式：
実画像計測用

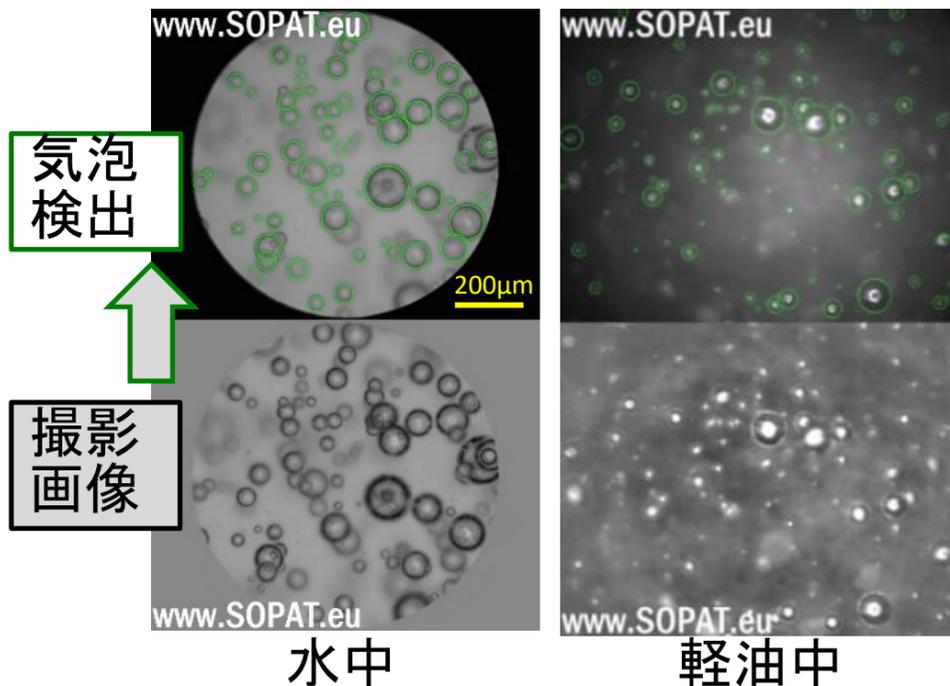
インライン計測の様子



観測窓から見たA重油中の気泡



計測された気泡のモニター画面

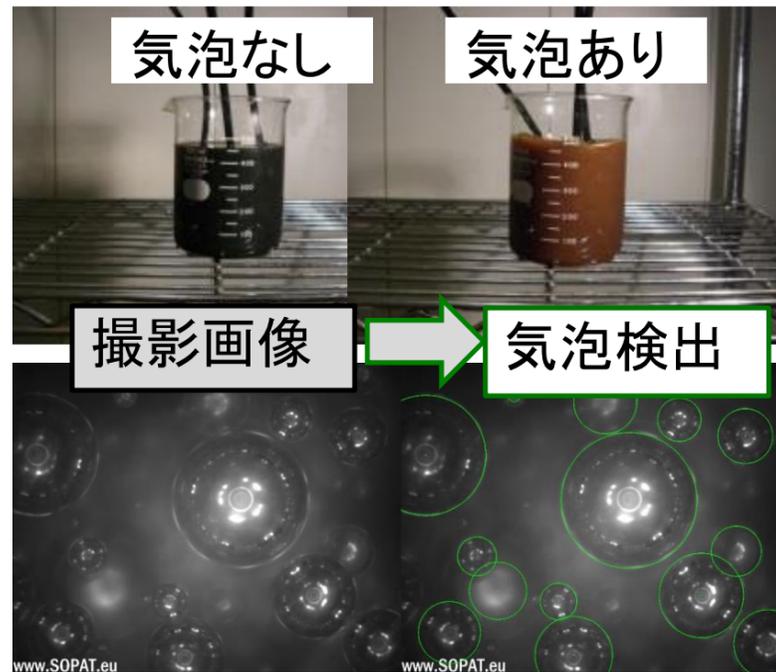


気泡検出

撮影画像

水中

軽油中

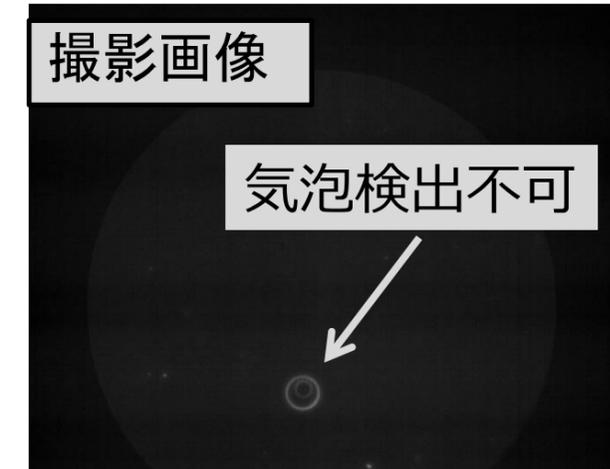


撮影画像

気泡検出

A重油：計測可

緑が測定認識対象



C重油：計測不可
(タール分が多く
透明度が極めて低い)

①-3) 微細気泡計測法の策定

最終目標：重油中の気泡径計測法を策定
→A重油は計測可、C重油は計測不可【ほぼ達成】

ベンチエンジン (C重油) と大型エンジン(A重油)を用いた燃費改善装置の評価

ベンチエンジン (C重油) と大型エンジン(A重油)を使って燃費改善装置の評価を行った。

ベンチエンジン (C重油)

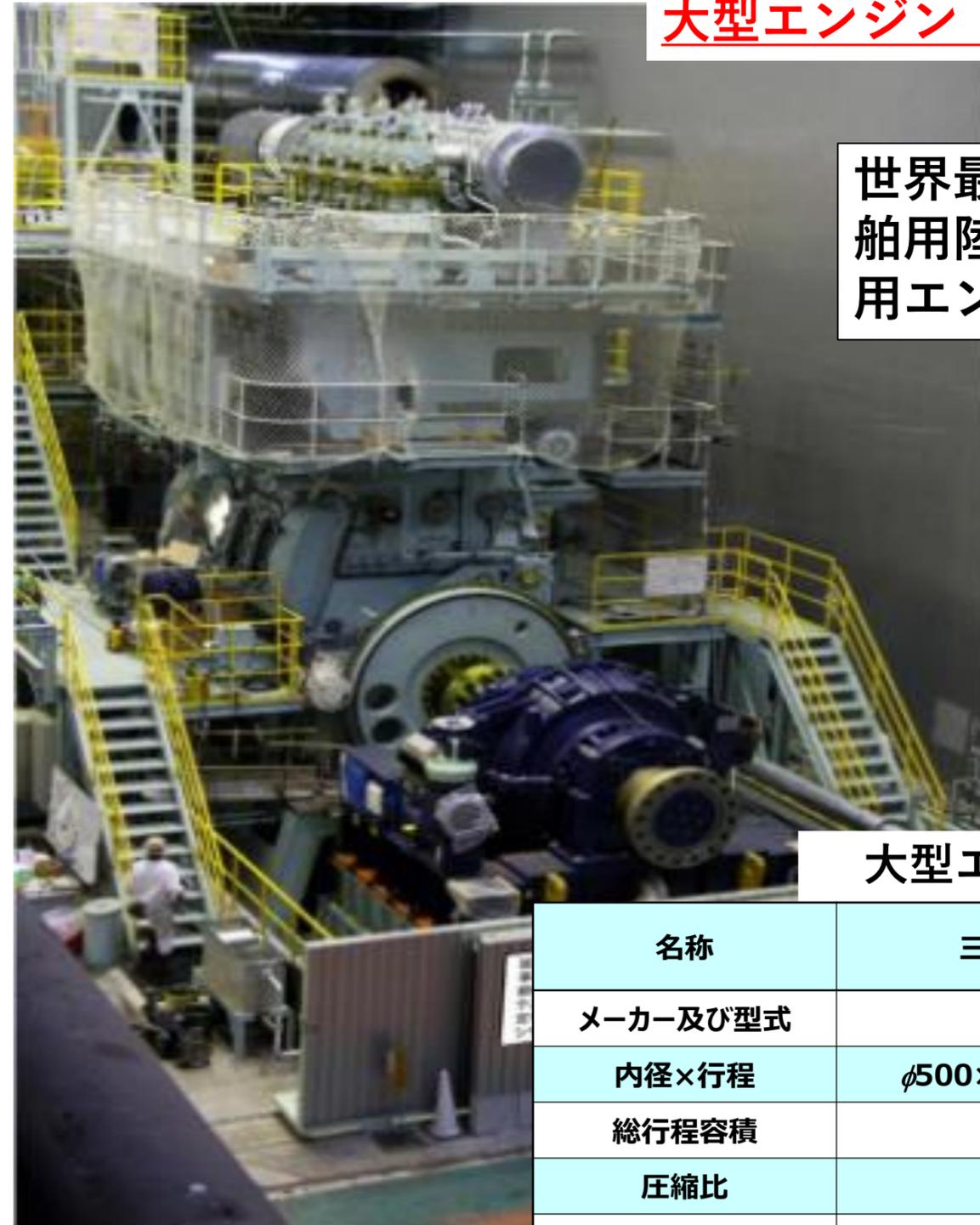


目的とする対象に近い世代のエンジン

ベンチエンジン仕様

名称	立形4サイクル過給機付 ディーゼル機関
メーカー及び型式	マツイMU323DSC
内径×行程	φ230×380 mm×3気筒
総行程容積	47.4 L
圧縮比	13.6
定格出力	257 kW/420 rpm

大型エンジン (A重油)



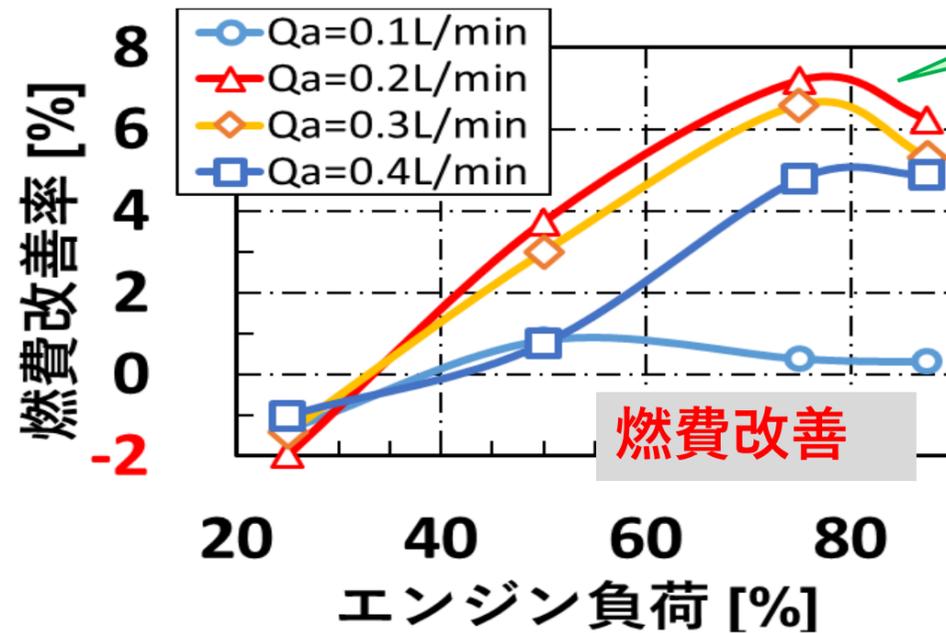
世界最大級の船用陸上試験用エンジン

大型エンジン仕様

名称	三井-MAN B&W
メーカー及び型式	4S50ME-T9
内径×行程	φ500×2214 mm×4気筒
総行程容積	1739 L
圧縮比	非公開
定格出力	7460 kW/117 rpm

ベンチエンジン（C重油）と大型エンジン（A重油）を用いた燃費改善装置の評価

ベンチエンジン（C重油）

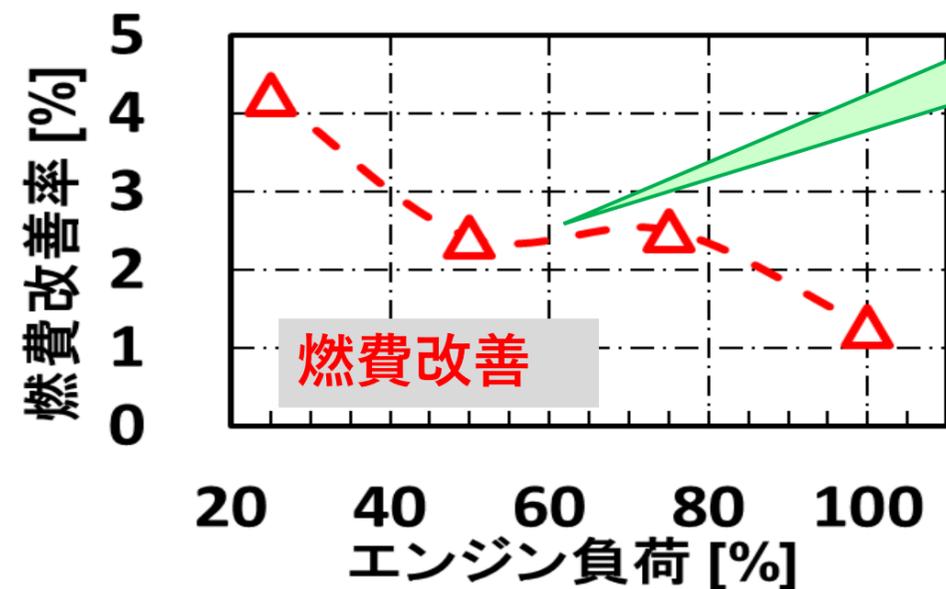


負荷平均:5.7% 最大:7.2%

空気混入量0.2L/min. (ボイド率9.1%) が最も燃費改善が大きい

空気量がこれより少ないと気泡数が少なく
空気量が多くなると、気泡径は大きく、気泡数が少なくなり、
結果として、燃費改善効果が小さくなる

大型エンジン（A重油）



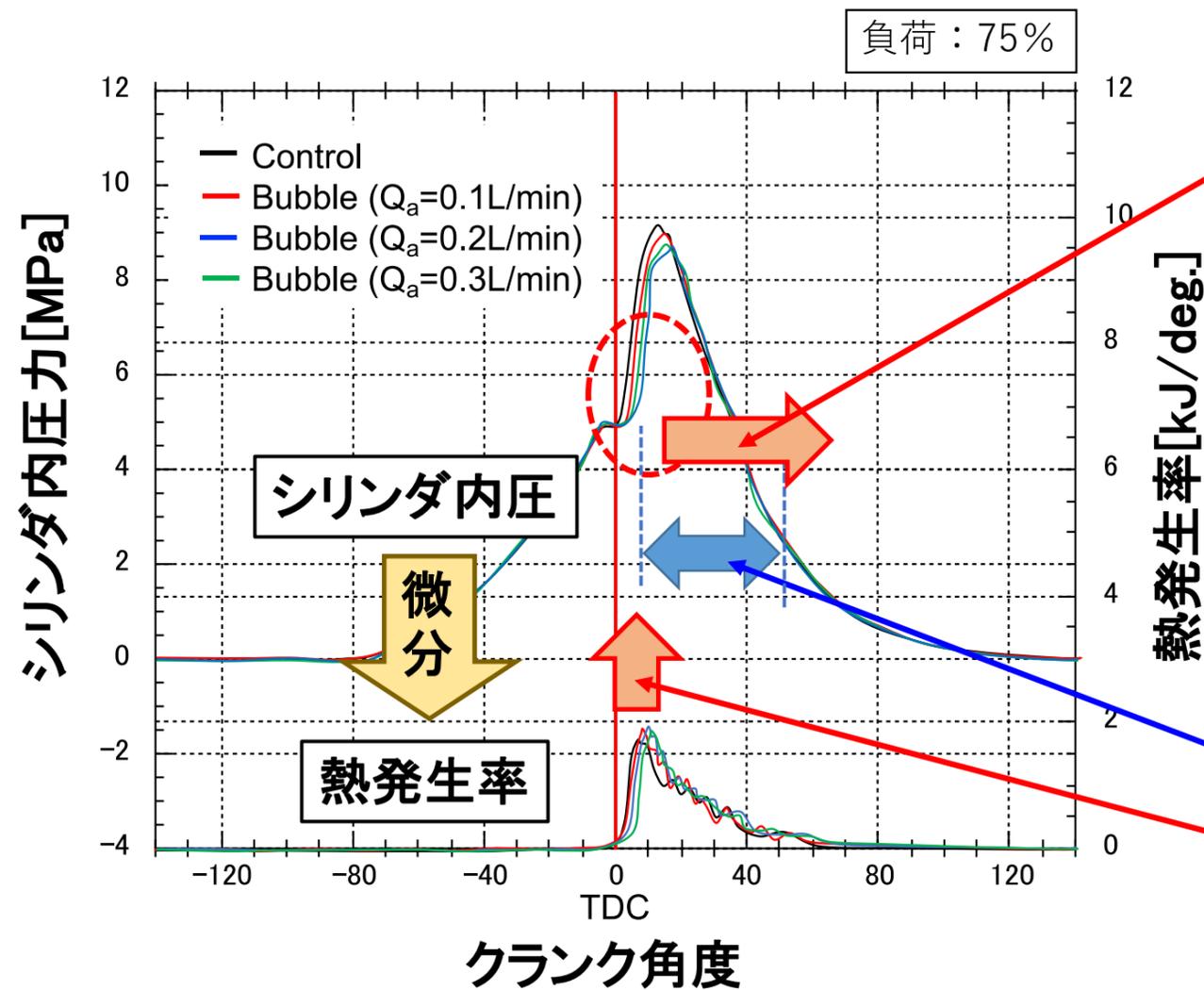
負荷平均:3.1% 最大:4.2%

C重油ベンチエンジンと比較すると燃費改善が小さい
自動制御がかかるので特有のカーブとなる

今回使用した大型エンジンは最新のシステムに改造されたエンジンである。
一方、ベンチエンジンは目指すところの対象に近いエンジンであり、
しかもC重油で計測できた。
従ってベンチエンジンでの結果が目標に近いものと考えられる。
また結果から、大型エンジンでも効果が十分期待できるものと確信する。

燃費改善の考察：

下図は横軸にクランク角度、
左縦軸にシリンダ内圧、右縦軸に熱発生率を示す。



微細気泡混入燃料

ステップ1:
燃料噴射ノズル内の微細気泡圧縮により
燃料の噴射遅れ・・・(確認済)



ステップ2:
・微粒化促進・・・(公知の事実、当該Gでも確認済)
・空気圧縮の反力による噴射圧の増大・・・(仮説)
・伝熱・物質拡散の促進・・・(仮説)

ステップ3:
・燃焼期間が短縮・・・(確認済)
・熱発生率[kJ/deg.]の増大・・・(確認済)

結果:
・燃費改善・・・(確認済)

目標達成状況

全体計画	最終目標 (値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
燃費改善装置の開発	燃費改善 5 %	f.高温(150°C)、高圧(10気圧)条件下での、微細気泡の「混入器」、「分級槽」、「計測法」がなく且つ、上記の高温高圧条件に於ける「評価」はなされていない	【達成】 C重油ベンチ機関で7%、 A重油大型機関で3% 平均5%以上の燃費改善を達成
個別研究項目	最終目標 (値)	開発当時の技術レベル	到達レベル
①-1) 微細気泡混入器の開発	①-1) 平均気泡径40μm、気泡数 3×10^6 個/ml以上	a.「混入器」が不明 b.適切な気泡サイズや量がわからない	【達成】 ①-1) 気泡径、気泡数とも達成
①-2) 微細気泡混合分級槽の開発	①-2) 平均気泡径40μm、ボイド率5%、出口気泡数 1.5×10^6 個/ml以上	c.必要な微細気泡を選択的に混入する「分級槽」がない	【達成】 ①-2) 気泡径、気泡数とも達成
①-3) 微細気泡計測法の策定	①-3) 重油中の気泡径計測法を策定	d.透明度の悪い重油中の微細気泡を計測する方法がない	【ほぼ達成】 ①-3) A重油計測可能を確認 C重油は不純物高濃度で困難
②燃費改善装置の評価	②燃費改善率 5 %	e.重油 + 微細気泡が混入した内燃機関での性能評価がない	【達成】 ② 5%以上の燃費改善を達成 注入空気量で制御可能を確認

省エネルギー効果量

	2027年		2030年	
	国内	国外	国内	国外
指標A (効果量)	702 k L / 年・台	-	702 k L / 年・台	-
指標B (導入量)	50	-	300	-
省エネルギー効果量 (k L / 年)	3.51万 k L / 年	-	21.06万 k L / 年	-

今後の課題

- ☆実船に最小限の改造で搭載できる装置の開発。(小型化・分割化)
- ☆仮搭載によるC重油(A重油)を用いた実船による試験
- ☆微細気泡混入方式の選択方式について
 エンジンの大きさや燃料圧力によって加圧溶解式とノズル式の有効性ならびに最適空気混入量についての更なる検討。
- ☆燃費改善メカニズムの解明。