

平成 28 年度

離島航路に就航する SES 旅客船の新規需要
喚起に係るフィジビリティスタディー（FS）

報 告 書

平成 29 年 2 月



独立行政法人

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

目 次

1	調査の目的	3
1.1	本調査の目的	3
1.2	本調査の調査対象	3
2	調査の内容	4
2.1	旅客船事業者へのヒアリング	4
2.2	SES 旅客船及び在来旅客船のトータルコスト及び船員の業務負担	4
2.3	旅客船事業者からの意見聴取	5
2.4	SES 旅客船に対する二次電池（リチウムイオン）等の将来的な適用可能性検討	5
3	調査結果	6
3.1	旅客船事業者へのヒアリング	6
3.2	SES 旅客船及び在来旅客船のトータルコスト及び船員の業務負担	12
3.3	旅客船事業者からの意見聴取	17
3.4	SES 旅客船に対する二次電池（リチウムイオン）等の将来的な適用可能性検討	18
4	まとめと考察	26

1 調査の目的

1.1 本調査の目的

スーパーエコシップ SES 旅客船（電気推進）の運用実態調査を行い、建造時のイニシャルコスト及び修繕等の際に発生するメンテナンスコストを、在来型旅客船（ディーゼル推進）と比較検証し、メリット・デメリットを定性的・定量的に洗い出す。

また、SES 旅客船に対する二次電池（リチウムイオン）等の将来的な適用可能性についての検討を行う。

1.2 本調査の調査対象

(1) 調査対象船舶

本調査の調査対象船舶は、「SES 旅客船」2 隻及び「在来旅客船」2 隻以上とする。

(2) 調査対象メーカー

本調査のヒアリング対象とするメーカーは、電気推進機器と在来船にかかる各機器メーカー並びに電池メーカーを含めることとする。

2 調査の内容

2.1 旅客船事業者へのヒアリング

(1) 定期検査・中間検査項目洗い出し

前記 1.2 (3) の調査対象船舶に対し定期検査・中間検査項目を洗い出し、機器毎の整備費用及び規則要求外の一般工事オーダー内容と同費用を、旅客船事業者と修繕ヤードにヒアリングを行う。

(2) 機器メーカーヒアリング

機器メーカーに検査毎のメーカーオーダー交換費用を聴取する。

また、トラブル発生事例や機器寿命が短く交換頻度の高いもの等があれば、その内容について機器メーカーと旅客船事業者にヒアリングを行う。ただし、当該船舶固有のものは調査対象外として取り扱う。

2.2 SES 旅客船及び在来旅客船のトータルコスト及び船員の業務負担

(1) 旅客船事業者ヒアリング

旅客船事業者に運航コストに関するヒアリングを行い、検査整備費等を含めたトータルコストを算定する。

(2) 船員ヒアリング

SES 旅客船及び在来旅客船における船員の業務負担について調査し、メリット・デメリット等の評価を行う。

(3) 振動、騒音計測

船員の業務負担の一要素として、運航時における振動・騒音計測を行い、業務環境についても評価対象とする。

(4) SES 旅客船の負担低減の考察

将来的（今後 10 年間）な業務負担対策について、ヒアリング結果を基に、SES 旅客船の負担軽減のあり方を一考察案（システムの構築を含む）として取り纏める。

2.3 旅客船事業者からの意見聴取

(1) 旅客船事業者ヒアリング

定期検査・中間検査費用に対する事業者の見解を聴取し、船主にとって負担の少ないSES旅客船の改善策を検討し、最適システムを再考する。

(2) 運航状態について調査

電池推進化の検討のため、旅客船の運航状態について調査する。

2.4 SES 旅客船に対する二次電池（リチウムイオン）等の将来的な適用可能性検討

二次電池メーカー等へのヒアリングを行い、充電設備・船内設備・その他必要とされる事項について、将来的な設備としての適用可能性を検討する。

3 調査結果

3.1 旅客船事業者へのヒアリング

(1) 旅客船事業者へのヒアリング結果

SES 旅客船 2 隻 (D 船、E 船) 及び在来旅客船 3 隻 (A 船、B 船、C 船) に対する定期検査・中間検査項目及び事業者整備基準に基づく整備項目・費用について、以下の項目につき資料等聴取した。

- ・平成 19 年度～平成 28 年度までの各船の整備項目 (入渠工事仕様書) と平成 18 年度～平成 27 年度までの整備費用 (実績)
- ・平成 28 年度～平成 33 年度までの保守整備・検査計画 (予定) と整備費用 (予測)
- ・平成 34 年度以降の保守整備・検査計画 (予定)
- ・各船の推進システムに係る各機器 (主機関、発電機関、推進器、ポッド推進器、インバータ盤等) 整備項目・費用 (予測)

① 各船の保守整備・検査計画（実績・予定）

② 平成 18 年度～平成 27 年度までのドック費用（検査・整備費用）実績

SES 旅客船 2 隻（D 船、E 船）及び在来旅客船 3 隻（A 船、B 船、C 船）の平成 18 年度～平成 27 年度までの検査・整備費用の比較を 図 3.1 及び 図 3.2 に示す。

検査・整備費用の内訳は、次のとおりである。

検査・整備費用 = 修繕費 + 原材料費
修繕費 = 修繕ヤードの作業費（メーカー作業費を含む） + 修繕ヤード手配の交換部品費

原材料費 = 船主支給の交換部品費

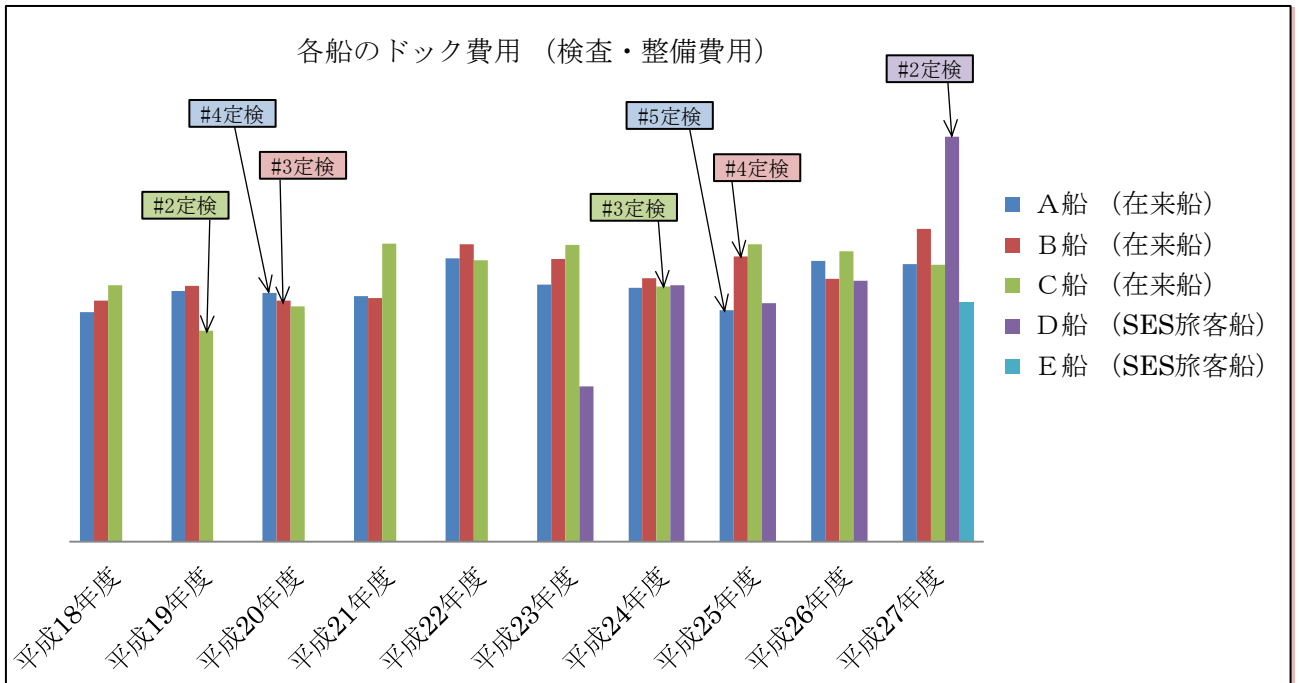


図 3.1 平成 18 年度～平成 27 年度までのドック費用実績

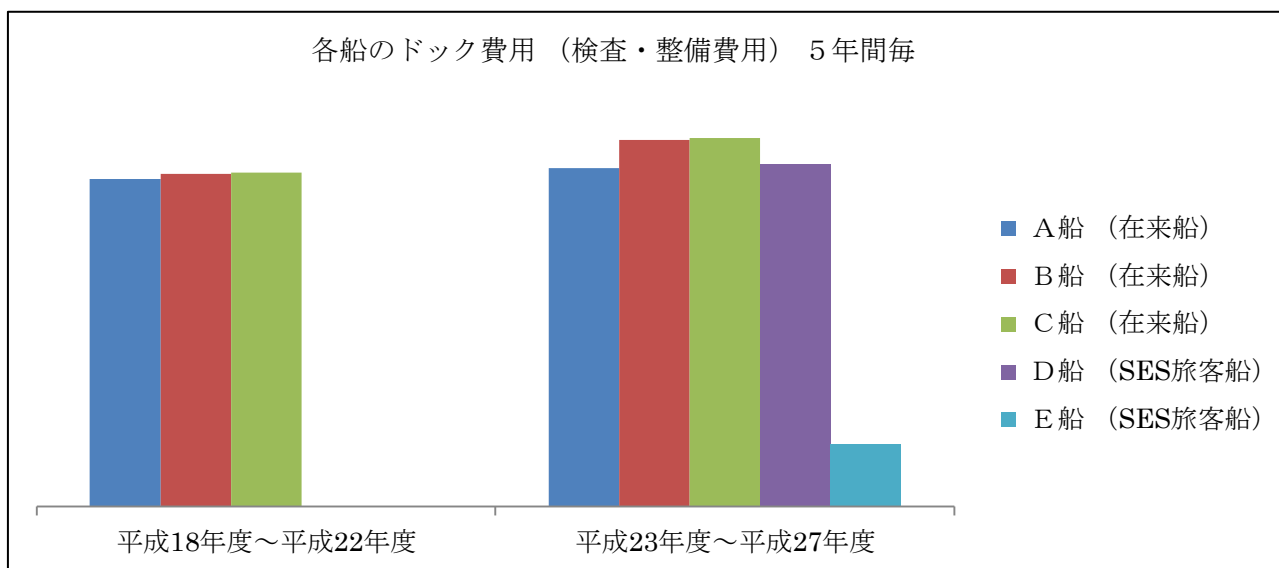


図 3.2 5年間毎のドック費用実績

③ 各定期検査間5年間のドック費用（整備・検査費用）

前記 図 3.1 及び 図 3.2 に示されるとおり、分割検査、継続検査等により各年度のドック費用はある程度平準化されているが、それでも各年度で山谷があること、また就航5年後最初の定期検査までは大きな検査・整備費用は発生しないことから、ドック費用（検査・整備費用）の比較は、検査年次が互いに近い定期検査年度から次の定期検査前年度まで5年間分の合計費用で行う。

具体的には、在来旅客船は「C船」の平成24年度（第3回定期検査）～平成28年度までの5年間の合計費用、SES旅客船は「D船」の平成27年度（第2回定期検査）～平成31年度までの5年間の合計費用にて比較した。

また、比較は在来旅客船「C船」の5年間の合計費用を100として、次項④の各機器割合の調査結果を含めて 図 3.3 に示す。

④ 各船の推進システムに係る各機器の整備・検査費用

一部詳細が不明なものや開示出来ないものについては推定し、また今後の費用については予測を行い、前項③の費用に占める各機器の割合を調査・推算した。

各機器の割合は、在来旅客船「C船」の5年間の合計費用を100として、各機器それぞれの検査・整備費用（5年間合計）の割合として 図 3.3 に示す。

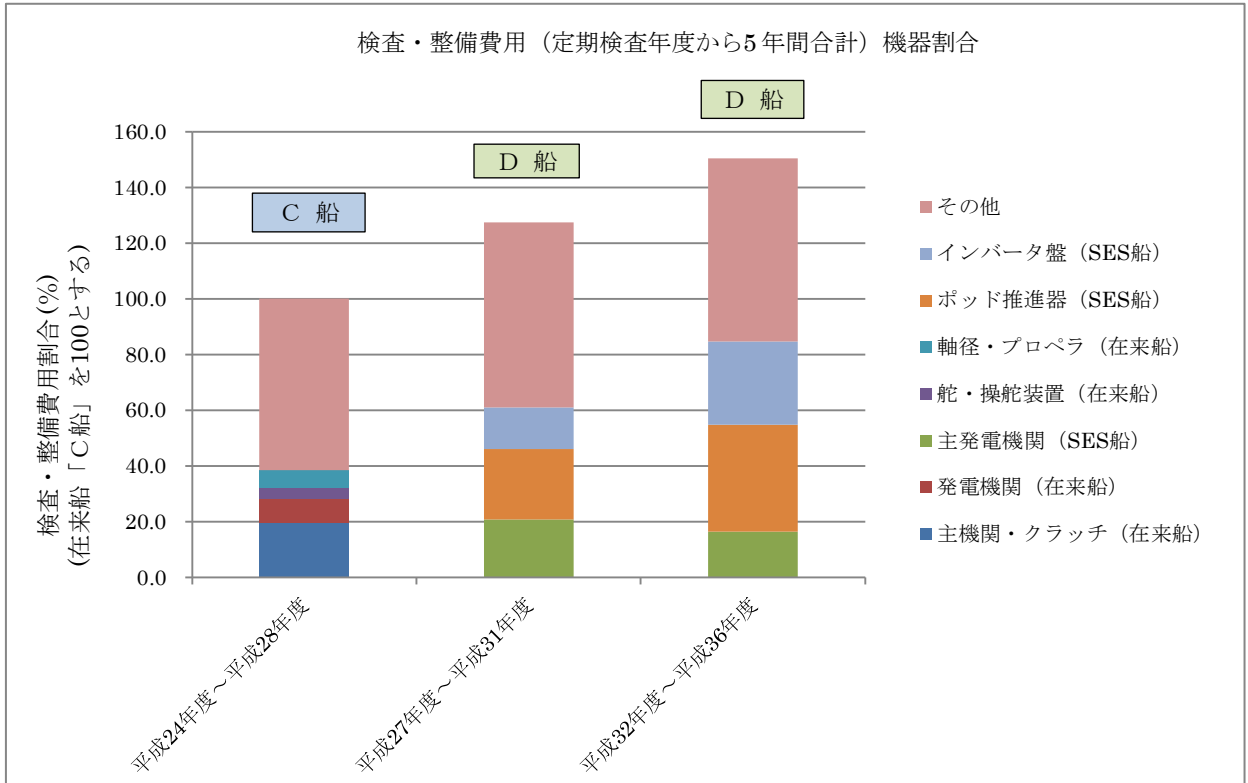


図 3.3 検査・整備費用（定期検査年度から5年間合計）機器割合

(2) 修繕ヤードへのヒアリング結果

SES 旅客船のドック工事の実績がある修繕ヤードに対し、前記 (1) ① 及び ③ の工事内容・費目について調査を行い、以下のとおり確認した。

・ドック費用は運航事業者からの「入渠工事仕様書」に基づいて、入札にて決定するため、

開示は出来ない。

- ・SES 旅客船 (D 船、E 船) では、ポッド推進器とインバータ盤の検査工事費用が在来船に比し、増大している (まだ実績が少ない新規装置であるため、メーカーからの技師派遣が必要であり、機器構成も複雑で部品点数も多いため)。
- ・ポッド推進器については、今後 工事实績を重ねれば、メーカー技師派遣費用改善の可能性はあるが、インバータ盤については、電気・電子機器の取扱いにメーカー技師派遣の取止めは難しい。
- ・また、ポッド推進器 (縦軸全旋回式) の整備・検査費用に関しては、2 軸 CPP 方式は 2 軸 CRP 方式と比較すると、ほぼ同等 (以上) である。ただし、インバータの整備・検査費用が不要となるメリットはある。

(3) 機器メーカーへのヒアリング結果

各船の推進システムに係る各機器 (主機関、補助発電機関、主発電機関、主・補助発電機、推進電動機、推進器、ポッド CRP 推進器、インバータ盤) の製造メーカーに対し、検査・整備項目、メーカー技師派遣項目、メーカー推奨部品交換項目等について、以下のとおりヒアリング調査を行った。

① ナカシマプロペラ株式会社 (ポッド CRP 推進器)

5 年毎、10 年毎それぞれの検査・点検項目とメーカー技師派遣費用、メーカー推奨交換部品リストとメーカー標準価格等を聴取した。

② 大洋電機株式会社 (インバータ盤、主・補助発電機、推進電動機)

インバータ盤について、4 年毎、7~10 年毎、10 年毎それぞれの検査・点検項目とメーカー技師派遣費用、メーカー推奨交換部品リストとメーカー標準価格等を聴取した。

③ ヤンマー株式会社/ヤンマーエンジニアリング株式会社 (主発電機関、補助発電機関)

主発電機関について、5~10 年毎の検査・点検項目とメーカー推奨交換部品リスト等を聴取した。

④ 阪神内燃機工業株式会社 (主機関)

5～10年毎の検査・点検項目、メーカー推奨交換部品リスト及びメーカー標準価格等を 聴取した。

3.2 SES 旅客船及び在来旅客船のトータルコスト及び船員の業務負担

(1) 旅客船事業者へのヒアリング結果

旅客船事業者に、運航コストとして平成 28 年 4 月～平成 29 年 1 月まで 10 ヶ月間の各船の給油量実績（燃料消費量、運転時間）を聴取し、これを 1 年間の運転時間を 4,800 h/年、燃料油価格を 64 円/ℓ（A 重油）として、前項 3.1 (1) ③ に記載した整備・検査費用を含めたトータルコストを算出すると以下のとおりとなる。

なお、燃料消費量（ℓ/h）の比較は、船型、推進出力が近い在来旅客船 2 隻（A 船、C 船）及び SES 旅客船 2 隻（D 船、E 船）の 4 隻で行った。

- ・在来旅客船 2 隻と SES 旅客船 2 隻との燃料消費量の差=29.56 (ℓ/h) (1 隻当たり)
- ・1 年間の燃料消費量の差=29.56 ℓ/h x 4,800 h/年 x 64 円/ℓ = 908 万円/年
- ・5 年間の燃料消費量の差=908 万円/年 x 5 年= 4540 万円

即ち、SES 旅客船は燃費性能が優れており（在来旅客船に比較して約 18%）、逆に見れば、在来旅客船は運航費用として燃料費が SES 旅客船に比し、908 万円/年ほど嵩むことになる。

そこで、前記 3.1 (1) ④ 項 図 3.3 で述べた検査・整備費用に運航費用（燃料費）を含めたトータルコストの面で比較すると、図 3.4 に示すとおりとなる。

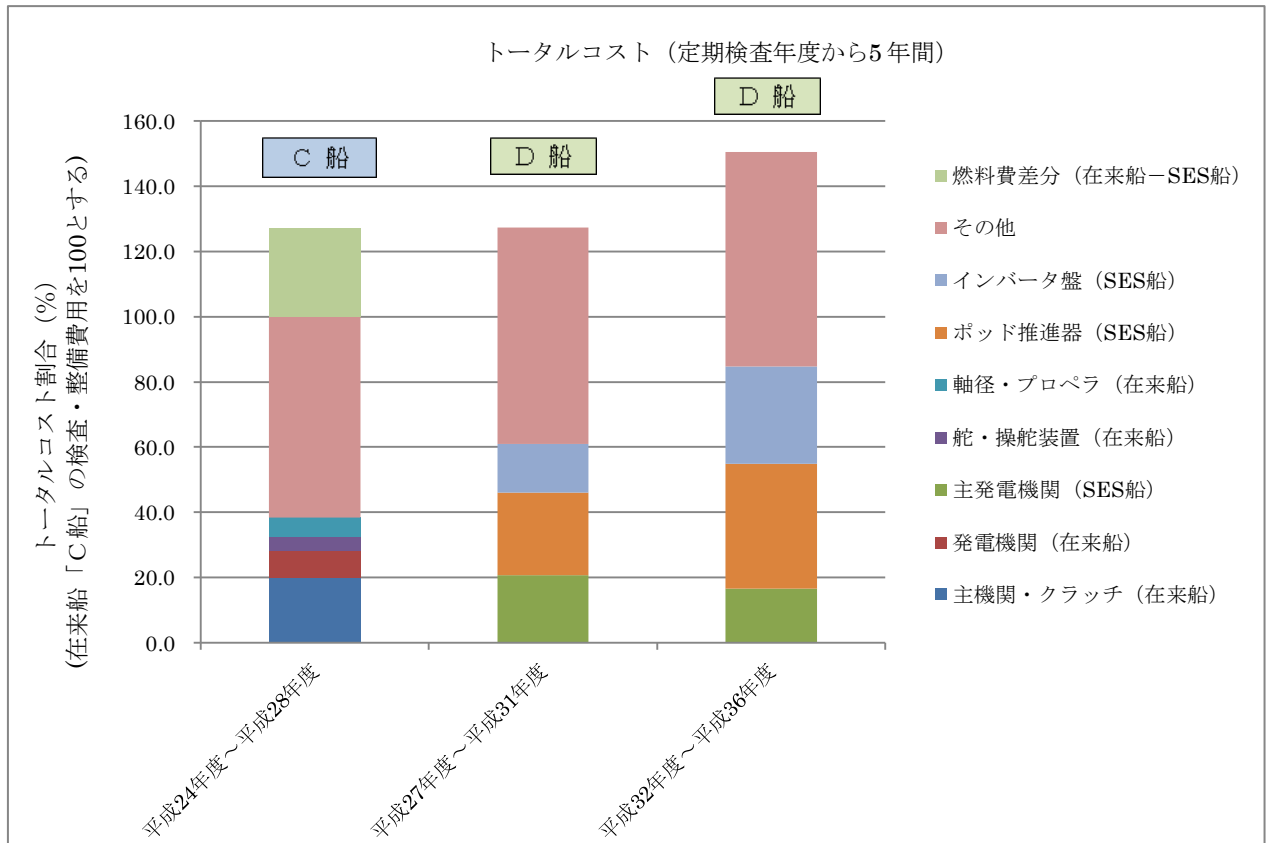


図 3.4 トータルコスト（定期検査年度から 5 年間合計）

(2) 船員へのヒアリング結果

SES 旅客船及び在来旅客船の船員の業務負担に関し、操縦性、操船性、静粛性、燃料消費、検査・整備費用の面から、SES 旅客船のメリット、デメリットを、船員及び運航管理者の方から以下のとおり聴取した。

① メリット

- ・操船性：特に強風下においては、ポッド推進器による針路保持性能が優れている。
- ・静粛性：特に離着岸時においても振動・騒音が小さく、船が動いているのを感じないこともあり。また、乗船された旅客からの声も同様である。
- ・燃費性能：前項 3.2 (1) に記載のとおり。

② デメリット

- ・検査・整備費用：特に就航後最初の定期検査（第 2 回定期検査）からは、検査・整備費用が増大する。

(3) 振動、騒音計測結果

船員の業務負担の一要素（業務環境）として、SES 旅客船 2 隻（D 船、E 船）と 在来旅客船 3 隻（A 船、B 船、C 船）定期運航状態（平成 28 年 12 月 26 日（月）、27 日（火）の 2 日間）にて振動・騒音計測を実施した。計測結果を以下に示す。

通常の営業航海中での計測のため、船内環境の影響を受けた結果ではあるが、乗組員の体感どおり、「E 船」「D 船」が静穏で、「C 船」が騒然であることが確認できた。

表 3.2 各船の騒音計測結果

騒音計測結果	
施行年月日	平成28年12月26日(月)～27日(火)
使用計測機器	NL-32
機器製造所名	リオン株式会社

1) 在来旅客船(ディーゼル推進)

No.	甲板	計測場所	在来旅客船(ディーゼル推進)			SES旅客船(電気推進)	
			A船 計測値 dB(A)	B船 計測値 dB(A)	C船 計測値 dB(A)	D船 計測値 dB(A)	E船 計測値 dB(A)
①	航海船橋甲板	操舵室(船首) 後西側	(1) -1 60.5	(2) -1 60.5	(7) -1 56.3	(3) -1 52.5	(4) -1 50.3
		操舵室(船尾) 鹿児島側	(1) -1 60.0	(2) -1 56.6	(7) -1 63.8	(3) -1 61.4	(4) -1 58.2
③	遊歩甲板	椅子席(船首) 後西側	(1) -1 59.7	(10) -1 59.0	(7) -1 60.6	(3) -1 ※1) 63.9	(4) -1 58.7
		椅子席(中央)	(8) -1 65.9	(10) -1 60.4	(7) -1 65.2	(9) -1 54.0	(5) -1 59.6
		椅子席(船尾) 鹿児島側	(8) -1 62.3	(10) -1 62.7	(7) -1 68.8	(3) -1 61.9	(4) -1 57.0
⑥	上部車両甲板	車両区画(中央)	(8) -1 67.0	(2) -1 65.2	(7) -1 68.6	(3) -1 66.3	(4) -1 65.4
⑦	上甲板	車両区画(中央)	(8) -1 82.2	(10) -1 78.4	(7) -1 83.3	(9) -1 78.8	(5) -1 82.7
		休憩室 鹿児島側	(8) -1 64.5	(10) -1 66.4	(7) -1 67.8	(9) -1 62.7	(5) -1 64.7
⑨	船倉	娯楽室	(8) -1 68.6	(10) -1 64.2	(6) -1 66.5	(9) -1 70.1	(5) -1 65.2
		機関監視室	(8) -1 72.6	(10) -1 72.9	(6) -1 72.4	(9) -1 53.0	(5) -1 69.0

2)

No.	甲板	計測場所	在来旅客船(ディーゼル推進)			SES旅客船(電気推進)	
			A船 計測値 dB(A)	B船 計測値 dB(A)	C船 計測値 dB(A)	D船 計測値 dB(A)	E船 計測値 dB(A)
①	航海船橋甲板	操舵室(船首) 後西側	(1) -2 61.1	(2) -2 54.6	(7) -2 51.6	(3) -2 53.0	(4) -2 50.7
		操舵室(船尾) 鹿児島側	(1) -2 57.2	(2) -2 57.0	(7) -2 59.4	(3) -2 63.3	(4) -2 56.6
③	遊歩甲板	椅子席(船首) 後西側	(1) -2 59.4	(2) -2 60.8	(7) -2 63.7	(9) -2 ※1) 66.9	(4) -2 59.6
		椅子席(中央)	(8) -2 65.5	(10) -2 62.7	(7) -2 65.0	※2) 測定不良	(5) -2 62.9
		椅子席(船尾) 鹿児島側	(1) -2 60.9	(2) -2 63.5	(7) -2 68.9	(3) -2 62.1	(4) -2 61.5
⑥	上部車両甲板	車両区画(中央)	(1) -2 65.0	(2) -2 66.2	(6) -2 66.8	(3) -2 65.4	(4) -2 67.2
⑦	上甲板	車両区画(中央)	(8) -2 82.1	(10) -2 78.0	(6) -2 83.3	(9) -2 77.0	(5) -2 83.2
		休憩室 鹿児島側	(8) -2 66.5	(10) -2 68.4	(6) -2 68.4	※3) 測定不良	(5) -2 70.9
⑨	船倉	娯楽室	(8) -2 68.0	(10) -2 67.8	(6) -2 68.9	(9) -2 66.5	(5) -2 58.8
		機関監視室	(8) -2 71.4	(10) -2 72.3	(6) -2 72.1	(9) -2 54.8	(5) -2 68.9

計測番号を左肩に示す。例：(1) -1

(1)、(2)、(3)、(4)：12/26(月)計測
(5)、(6)、(7)、(8)、(9)：12/27(火)計測

※1) 船内放送・TV放送音量大による

※2) 船内放送による測定不良

※3) 電話の会話音による測定不良

表 3.3 各船の振動計測結果

振動計測結果	
施行年月日	平成28年12月26日(月)~27日(火)
使用計測機器	VA-12
機器製造所名	リオン株式会社

1) 既開港元 → 既開港元

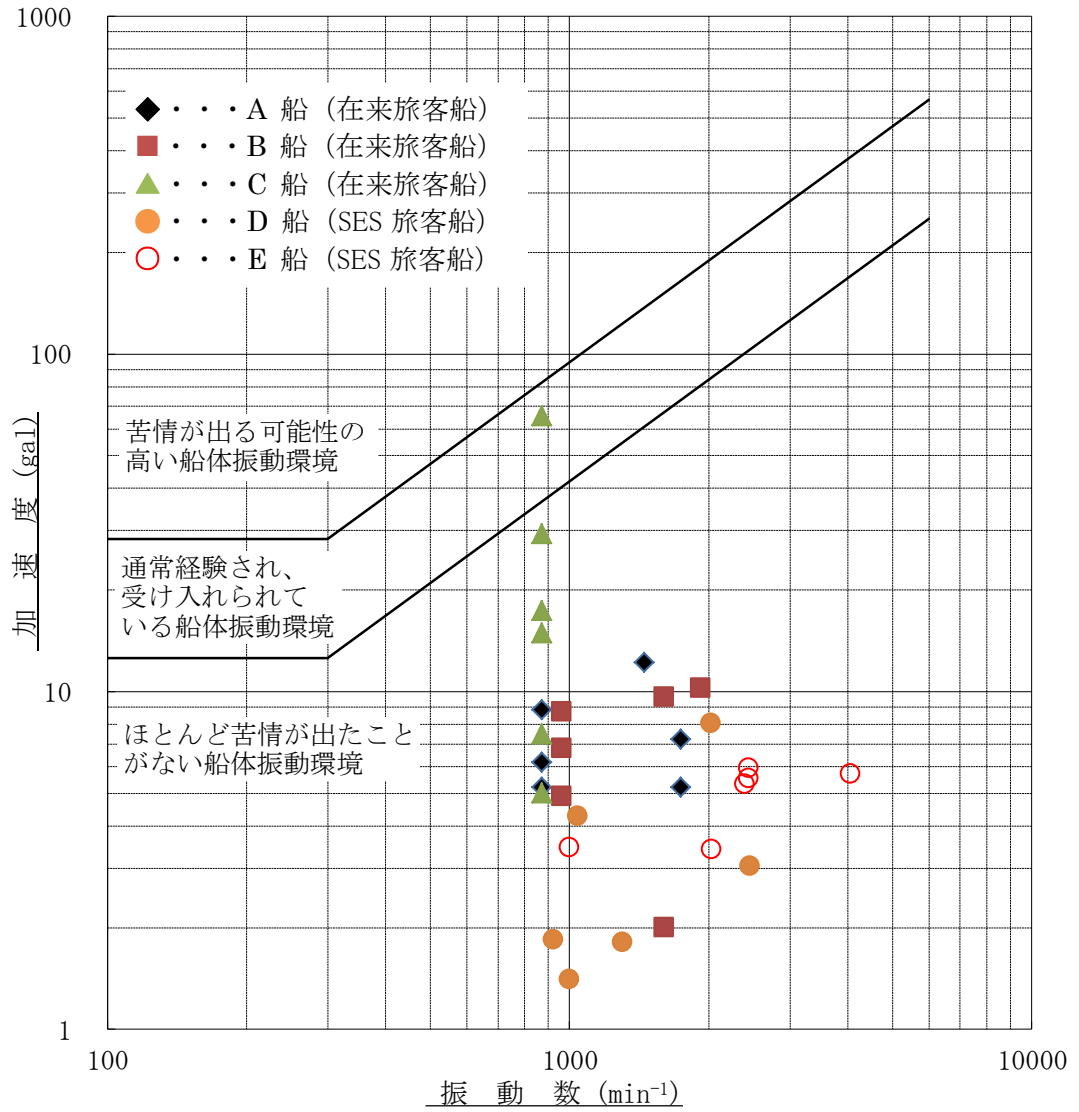
No.	計測場所	計測値	在来旅客船(ディーゼル推進)			SES 旅客船(電気推進)	
			A 船	B 船	C 船	D 船	E 船
			計測番号	計測番号	計測番号	計測番号	計測番号
1	船首操舵室	応答量 (gal)	12.19 (1)-1	6.79 (2)-1	29.32 (7)-1	1.84 (3)-1	5.53 (4)-1
		振動数 (cpm)	1450	960	870	923	2440
2	船尾操舵室	応答量 (gal)	8.82 (1)-1	2 (2)-1	17.37 (7)-1	4.27 (3)-1	3.45 (4)-1
		振動数 (cpm)	870	1600	870	1040	1000
3	遊歩甲板船首	応答量 (gal)	5.2 (1)-1	9.62 (9)-1	65.31 (7)-1	3.04 (3)-1	5.92 (4)-1
		振動数 (cpm)	870	1600	870	2460	2440
4	遊歩甲板船尾	応答量 (gal)	6.16 (1)-1	8.71 (9)-1	14.91 (7)-1	1.81 (3)-1	3.4 (4)-1
		振動数 (cpm)	870	960	870	1300	2028
5	上部車両甲板	応答量 (gal)	41 (8)-1	38.27 (2)-1	55.52 (7)-1	5.04 (3)-1	10.44 (4)-1
		振動数 (cpm)	870	960	870	1300	2440
6	上甲板船首	応答量 (gal)	2 (8)-1	24.82 (10)-1	12.98 (6)-1	23.59 (9)-1	169.71 (5)-1
		振動数 (cpm)	290	1600	1450	2400	2396
7	上甲板中央	応答量 (gal)	10.63 (8)-1	23.91 (10)-1	7.42 (6)-1	16.35 (9)-1	7.01 (5)-1
		振動数 (cpm)	1740	1920	1740	4048	3594
8	上甲板船尾	応答量 (gal)	14.47 (8)-1	1.84 (10)-1	3.07 (6)-1	4.85 (9)-1	6.49 (4)-1
		振動数 (cpm)	1450	1600	1450	2400	2028
9	娯楽室	応答量 (gal)	5.2 (8)-1	4.88 (10)-1	7.45 (6)-1	8.03 (9)-1	5.31 (5)-1
		振動数 (cpm)	1740	960	870	2024	2396
10	機関監視室	応答量 (gal)	7.2 (8)-1	10.22 (10)-1	4.99 (6)-1	1.4 (9)-1	5.7 (5)-1
		振動数 (cpm)	1740	1920	870	1000	4056

2) 既開港元 → 既開港元

No.	計測場所	計測値	在来旅客船(ディーゼル推進)			SES 旅客船(電気推進)	
			A 船	B 船	C 船	D 船	E 船
			計測番号	計測番号	計測番号	計測番号	計測番号
1	船首操舵室	応答量 (gal)	4.27 (1)-2	2.85 (2)-2	6.19 (7)-2	3.4 (3)-2	1.56 (4)-2
		振動数 (cpm)	1740	960	870	607	1000
2	船尾操舵室	応答量 (gal)	20.55 (1)-2	4.99 (2)-2	7.12 (7)-2	3.73 (3)-2	4.57 (4)-2
		振動数 (cpm)	1450	960	870	1040	1000
3	遊歩甲板船首	応答量 (gal)	5.89 (1)-2	2.9 (2)-2	7.62 (7)-2	2.88 (3)-2	8.9 (4)-2
		振動数 (cpm)	1450	960	870	2106	2440
4	遊歩甲板船尾	応答量 (gal)	15.44 (1)-2	7.23 (2)-2	26.73 (7)-2	4 (3)-2	5.56 (4)-2
		振動数 (cpm)	1450	1920	870	1040	1000
5	上部車両甲板	応答量 (gal)	17.92 (1)-2	17.04 (2)-2	33.15 (7)-2	9.83 (3)-2	23.15 (4)-2
		振動数 (cpm)	870	1600	870	1300	2440
6	上甲板船首	応答量 (gal)	6.03 (8)-2	2.66 (10)-2	12.03 (6)-2	3.2 (9)-2	6.49 (5)-2
		振動数 (cpm)	1740	960	1450	4212	2028
7	上甲板中央	応答量 (gal)	22.46 (8)-2	37.01 (10)-2	13.56 (6)-2	2.79 (9)-2	2.55 (5)-2
		振動数 (cpm)	2900	1920	1450	319	2440
8	上甲板船尾	応答量 (gal)	17.78 (8)-2	30.24 (10)-2	12.08 (6)-2	28.21 (9)-2	139.84 (5)-2
		振動数 (cpm)	1450	1600	1450	2106	2440
9	娯楽室	応答量 (gal)	5.78 (8)-2	7.59 (10)-2	6 (6)-2	2.41 (9)-2	1.62 (5)-2
		振動数 (cpm)	870	1600	1450	4212	2440
10	機関監視室	応答量 (gal)	6.25 (8)-2	5.78 (10)-2	3.48 (6)-2	4.33 (9)-2	10.66 (5)-2
		振動数 (cpm)	1740	1920	1740	2460	4056

1)

船体振動評価基準 (ISO 6954-1984)
(JIS F0907-1990)



居住区振動計測結果 (通常運航状態)

図 3.3 各船の振動計測結果 (1/2)

2)

船体振動評価基準 (ISO 6954-1984)
(JIS F0907-1990)

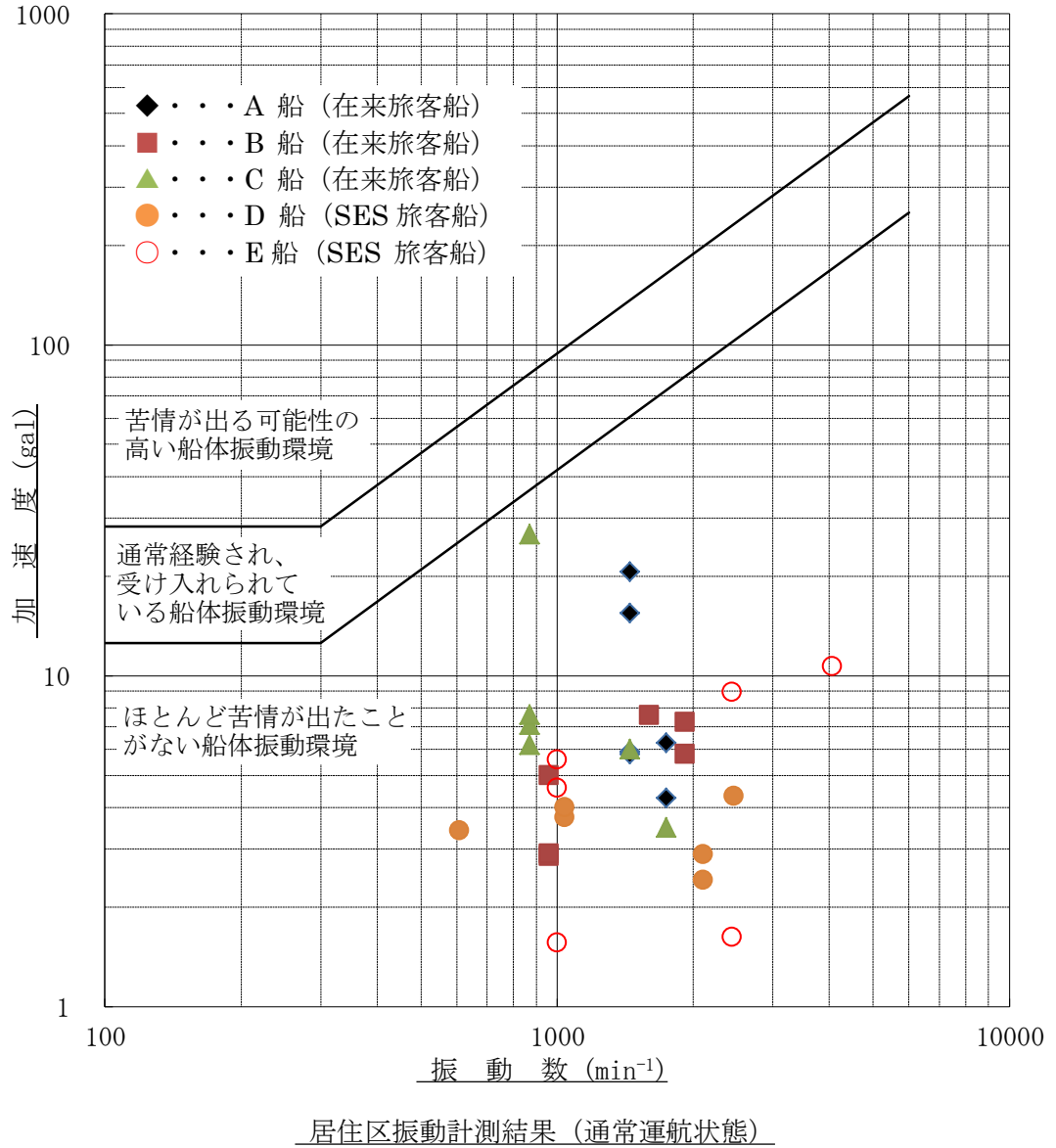


図 3.3 各船の振動計測結果 (2/2)

(4) SES 旅客船の負担低減の考察

電気推進システムの整備項目及び費用において在来船と比較して大きく異なるのが、ポッド推進器及びインバータ盤である。調査対象が旅客船であり、整備不良による欠航防止のため、ポッド推進器及びインバータ盤のメンテナンス費用（法令検査外の項目）をメーカー推奨通りの部品寿命に合せた交換時期とすると、就航後最初の定期検査（第2回定期検査）以降の5年目毎、10年目毎の整備費用が在来旅客船に比較して大きくなることが明らかとなった。

以上より、SES 旅客船を普及させるためには、CPP アジマス推進装置等の新たなシステム構想により、在来船のメンテナンスコストと SES 旅客船のメリット（低燃費、操船性、静粛性）が両立できる SES 旅客船の開発が重要になるものと推察する。

参考までに、SES 旅客船「D 船」の CRP アジマス推進装置（可変速電動機（インバータ制御）、プロペラ回転にて負荷制御）を CPP アジマス推進装置（定速電動機（要すればポールチェンジ式）、プロペラ翼角にて負荷制御）に置き換えた場合のトータルコスト（検査・整備費用、燃料費）を概略比較すると、以下のとおり推定される。

- ・ 検査・整備費用の比較：

CPP アジマスではインバータ盤が不要となるため、その検査・整備費用が削減できる。

- ・ 燃料費用の比較：

- ① 推進効率：

CPP アジマスでは、現在の CRP アジマスでの 2 枚翼分の負荷が 1 枚の翼に負荷されるため、CRP アジマスに比較して、同一のプロペラ直径とした場合、推進効率は約 9%悪くなると推定され、これにより燃料消費量は増加する。

- ② 伝達効率：

CPP アジマスでは、インバータ盤が不要となるため、インバータ盤を介することによる機械損失の考慮も不要となり、伝達効率は約 3%良くなると見込まれる。

- ③ 燃費性能：

現在の SES 旅客船（CRP アジマス）の燃費性能は、11 頁の 3.2 (1) に記載のとおり、在来旅客船に比較して約 18%だが、上記 ① により約 9%マイナス、上記 ② により約 3%プラスとなり、その結果、現在よりも悪くなるが、在来旅客船との比較では約 12%燃費が良くなる。

以上の結果を踏まえ、CPP アジマス推進装置の場合として、11 頁に記載の 3.2 (1) 図 3.4（トータルコストの在来旅客船との比較）を見直すと次頁に記載の 図 3.5 のとおりとなる。

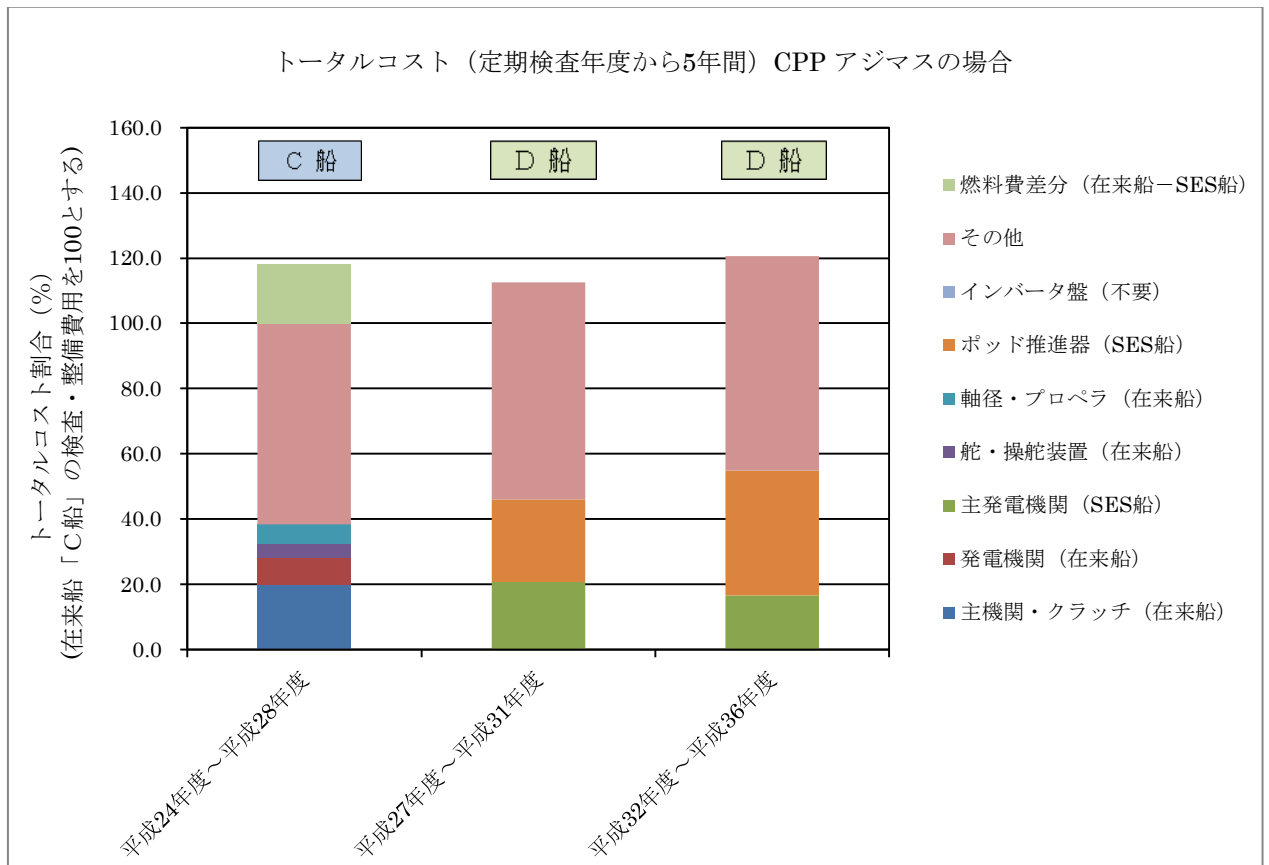


図 3.5 トータルコスト（定期検査年度から5年間合計） CPP アジマスの場合

3.3 旅客船事業者からの意見聴取

(1) 旅客船事業者へのヒアリング結果

検査・整備費用に対する旅客船事業者の見解については、前項 3.2 (1) 及び (2) に記載のとおり、SES 旅客船の検査・整備費用、特にポッド推進器とインバータ盤の就航後 5 年目毎及び 10 年目毎の検査点検工事費用と部品交換費用の増大が、今後大きな負担なってくるとの認識である。

(2) 電池推進化に係る運航状態調査結果

現在、各船の給油、整備は、陸電供給を含めて、片方の港の岸壁で行われている。

従って、電池推進化のための充電設備等の適用可能性検討に際しては、岸壁での所要電力、所要充電時間等の検討が今後の課題である。

3.4 SES 旅客船に対する二次電池（リチウムイオン）等の将来的な適用可能性検討

(1) 二次電池メーカー等へのヒアリング結果

公開された文献・資料等の検索、調査を通じて、大学や研究機関等の有識者の紹介を得て、二次電池システムメーカーとして渦潮電機(株)へのヒアリングを行い、以下のとおり聴取した。

- ・本 LiB（リチウムイオン二次電池）システムは、推進電力が 50 kWh～100 kWh 程度の小型船舶対象で、海上技術安全研究所にて実証実験中のものである。充電システムは、船内設置の交流発電機を使用しており、充電時間と放電時間（稼働時間）は、それぞれ若干の充放電ロスはあるものの、ほぼ同等時間であるとのこと。

- ・「D 船」「E 船」のように推進電力が大きい船舶を対象とする場合、必要な電池容量は運航時間と充電間隔に依存するが、LiB パックの構成数を増やすことにより、設置スペースも増大するが、大電力への対応は技術的には可能。

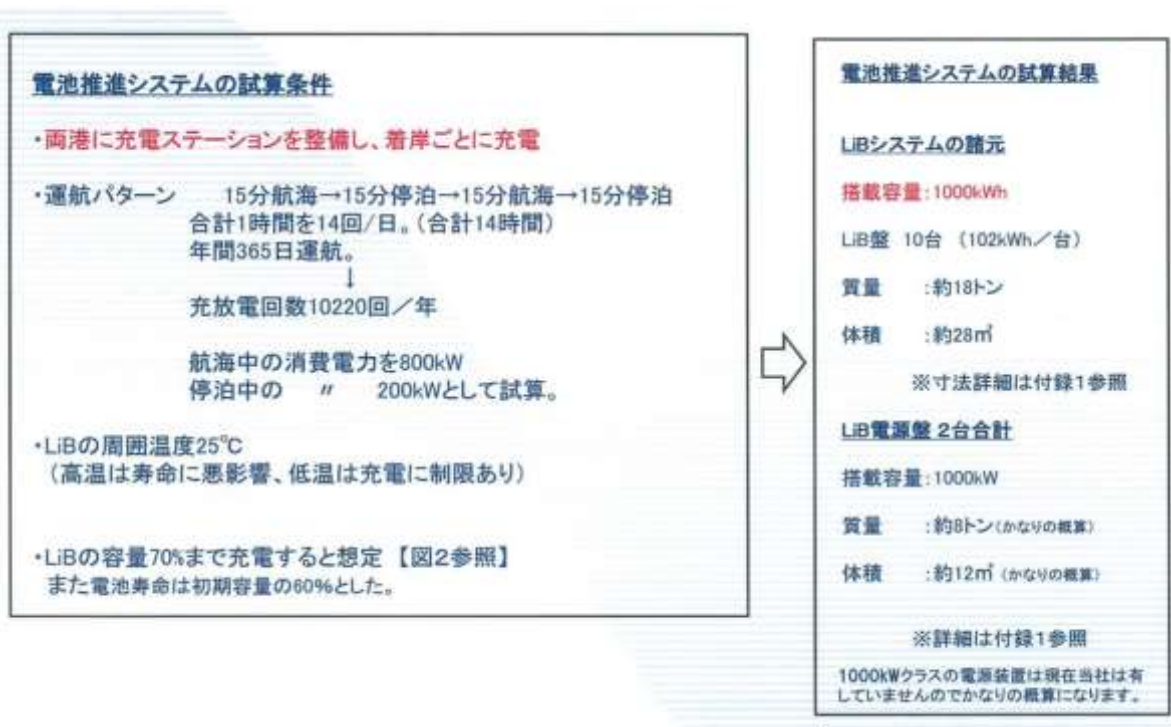
- ・本 LiB システムでは、5 年～10 年で電池交換を設計条件として容量を決定しているが、電池交換時期を延長できるかどうかは、充放電パターンを精度良く把握しておく必要がある（電池交換時期を延長すると、劣化分を考慮して電池容量に余裕を見込んでおく必要があるため）。

- ・船用二次電池システムを搭載する場合の設備要件としては NK ガイドラインがあり、専用区画（防火防熱区画）への設置、消火設備（CO₂ 消火装置等）の設置等が必要となる。

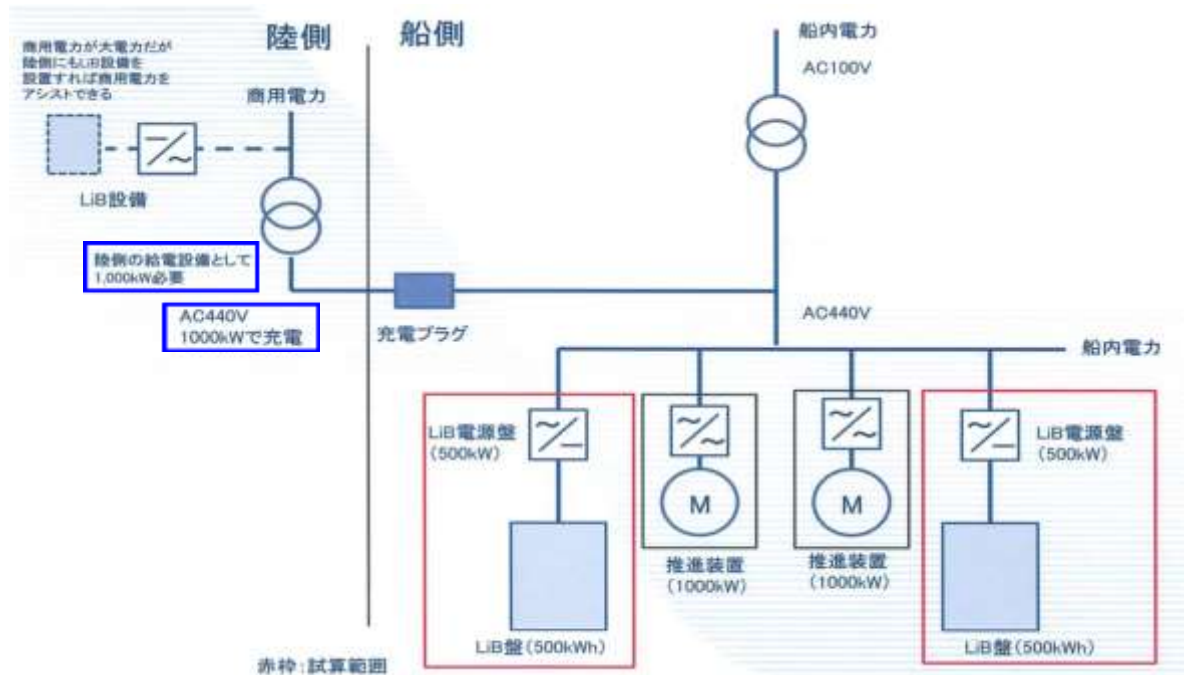
- ・その他留意点としては、二次電池の寿命は、インバータと同様、設置区画の環境温度に影響を受けるとのことで（環境温度が 10 度上昇すると、寿命は半減）、空気調和装置の設置が推奨される。

《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》 (1/4)

1. 電池推進システムの試算



2. システム構成案



《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》 (2/4)

3. 船舶、陸電、LIB の充放電パターン (1往復)

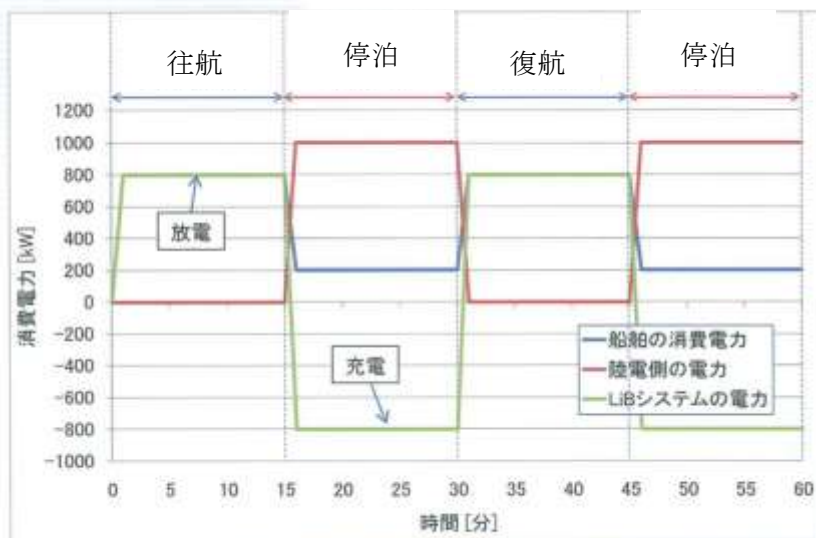
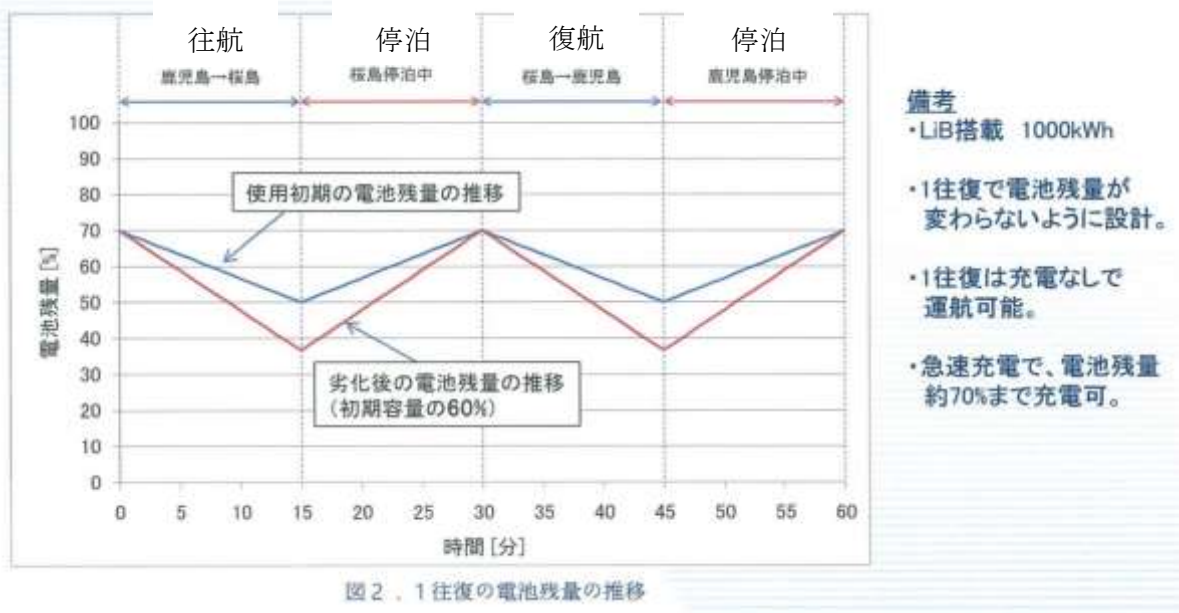


図1. 船舶と陸電の充放電パターン (1往復分)

備考

- ・片道ごとに充電する。
- ・陸電側に1000kWの充電設備が必要。
- ・陸電側に蓄電池を別途設置することで、系統側の増強と電気料金を抑えられる可能性がある。
- ・充放電効率は考慮していない。

4. LiB の電池残量の推移 (1往復)



《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》 (3/4)

5. まとめと検討課題

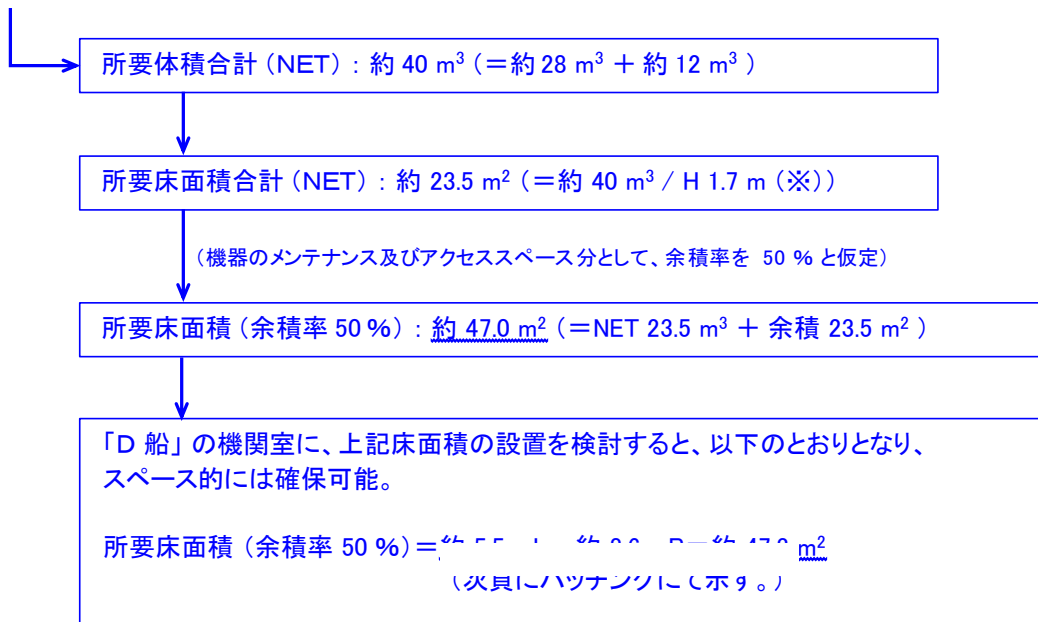
- ・電池の搭載量を減らし、船側のスペースを保つためには、各港に充電設備があるのが望ましいです。
- ・陸電側に蓄電池を設置することで、系統側の増強と電気料金を抑えられる可能性があります。
- ✓ 充電なしでも1往復は可能な容量を持たせており、不測の事態に備えています。
- ・船自体の軽量化、低抵抗化などにより、推進に必要な電力を抑えることができれば、電池推進船の実現が近づくと考えられます。
- ・LiBを分散配置すれば、居住区などが広く確保できる可能性があります。
- ・夜間に電池推進船を運行すれば、騒音低減の効果が大きく、また便数が少ないので電池寿命が伸びることが期待できます。
- ✓ 寿命については、使用するセルの特性や使用条件や環境により大きく異なるため別途検討が必要です。

《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》 (4/4)

6. LiB 盤 及び LiB 電源盤の詳細 (付録 1)



7. LiB システムの船内配置検討 (対象船は「D 船」)



(2) 将来的設備（充電・船内）の適用可能性検討結果

前項 3.4 (1) に記載する二次電池メーカー等への調査結果を踏まえ、充電設備（容量、充電時間）、船内設備（推進に必要な二次電池の容量と寸法）、その他必要とされる事項について、将来的な設備としての適用可能性を以下のとおり考察した。

二次電池（リチウムイオン）は、大気汚染物質排出規制（SO_x 3次規制）に対する推進動力源としては、非常に有意義なシステムであり、次世代 SES といえる。

二次電池搭載量や充電容量を勘案すれば、投入航路としては複数の船舶が配船されており、且つ比較的短航海船が適していると考察され、本調査の対象旅客船事業者及び対象航路は、二次電池（リチウムイオン）推進船の検討価値が高い運航体制及び航路といえる。

電池推進船として必要な設備検討の前提としては、2隻以上の二次電池（リチウムイオン）推進船を保有し、1隻は往復1時間の通常定期航海に従事して1時間充電するものとし、その1隻が充電中はもう1隻の船舶が通常定期航海に従事するものと想定した。

上記運航パターンは、前項 19～22 頁に記載の《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》を踏まえて想定したもので、陸側の給電設備が一方のみしか利用できない場合にも対応可能な運航パターンである。

前項の《SES 旅客船を二次電池システムに置き換えた場合の概算検討》による検討結果を要約すると次のとおりとなる。

- ・往復1時間の運航に必要な電池容量は1,000 kWh となり、その重量及び体積は 22 頁に記載のとおりとなる。ただし、重量及び体積に関しては、既存のものが無いため、概算となる。
- ・陸側の給電（充電）設備としては1,000 kW が必要となる。ただし、陸側からの給電設備に関する増設の費用算定については、個別の見積となるが、既存のシステムではないため、今後の検討課題となる。
- ・検討した運航パターン、充放電パターン、充放電回数、劣化後の電池残量を考慮した電池寿命（交換時期）は、ヒアリングでは約3～5年である。
- ・検討した運航パターン、充放電パターンにて、電池必要量は1,000 kWh となるが、現

状の一般的な日本製の市場価格に基づくコストは、 $1,000 \text{ kWh} \times \text{約 } 10 \text{ 万円/kWh} = \text{約 } 1 \text{ 億円}$ （電池のみの費用で、電源盤及びインバータ盤の費用は含まず）となる。

・ これらを基に、コスト比較を行った結果は以下のとおりである。

（初期コスト）

〔発電機関による推進〕 発電機及び発電機関、付属機器：約 1.9 億

〔電池推進〕 電池：約 1 億+盤及び陸上給電設備（2ヶ所）

（メンテナンスコスト 10年間を想定）

〔発電機関による推進〕 発電機関、付属機器：約 62 百万円

〔電池推進〕 電池（寿命 5年として 2回交換）：約 2 億

（燃料・電力費 年間 12カ月可動）

〔発電機関による推進〕 発電機関用燃料費：約 20 百万円

※燃料単価：64 千円/KL、年間使用量：313KL

〔電池推進〕

電池給電電力費用：約 57 百万円（高圧：6000V）、約 58 百万円（低圧：100～200V）

※電力会社産業用及び業務用電力単価によるシミュレーション（基本料金含む）

※電力単価：産業用 11.44 円/kWh、業務用 11.87 円/kWh

※年間電力量： $7,000 \text{ kW/day} \times 365 \text{ day} = 2,555 \text{ 千 kW}$

・ これらの結果を踏まえると、二次電池の適用に関しては、さらなるシステムの検討とコストダウンが求められる。

以上の結果より、将来的設備（充電・船内）の適用可能性について、改めて考察すると、次のとおりとなる。

① 充電設備

- 1) 船内に充電用発電機を保有
- 2) 陸上に給電設備を保有

の2ケースが考えられるが、複数船舶を配船していれば、2)のケースが充電用発電機の重複投資抑制や発電機稼働率の面でメリットがある。

② 船内設備

- 1) 二次電池システム（電池パック＋電圧安定器＋インバータ）＋推進電動機
- 2) 二次電池システム設置区画の付帯設備（空気調和装置、防火・消火装置）

③ 二次電池（リチウムイオン）推進船の将来的な適用可能性

二次電池メーカーへのヒアリング調査及びメーカー検討情報より、現段階では電池推進船の開発は途中段階であるため、二次電池コストが高額となることから、電池推進船の初期費用＋船暦25～30年間の寿命劣化による電池交換費用＋給電設備費用（機器メンテナンス費用を含む）が、従来船の主機関＋発電機関＋生涯消費燃料＋機器メンテナンス費用等と相殺できるレベルには到達しておらず、今後二次電池普及によるコストダウンが必要であり、現状では時期尚早のシステムと判断せざるを得ない。

しかしながら、環境負荷、乗組員の労働環境、旅客船としての静粛性等を考えると、今後早期開発が望まれる推進システムであると考察する。

4 まとめと考察

旅客船事業者の運航船を対象とし、SES 旅客船の電気推進システムに係る各機器（主発電機関、推進電動機、インバータ盤、ポッド推進器等）の整備項目及び費用に関し、旅客船事業者並びに各機器メーカーに対してヒアリング調査を実施し、ルール要求の整備項目、旅客船事業者の整備基準、及び各メーカーの推奨整備項目並びに各整備項目にかかる費用（メーカー標準価格）を確認した。そのうえで、SES 旅客船に対比する在来旅客船の推進システムに関する整備項目及び費用の比較を行った。

電気推進システムの整備項目及び費用において在来船と比較して大きく異なるのが、ポッド推進器及びインバータ盤である。調査対象が旅客船であり、整備不良による欠航防止のため、ポッド推進器及びインバータ盤のメンテナンス費用（法令検査外の項目）をメーカー推奨通りの部品寿命に合せた交換時期とすると、就航後最初の定期検査（第 2 回定期検査）以降の 5 年目毎、10 年目毎の整備費用が在来旅客船に比較して大きくなることが明らかとなった。

そのため、整備費用の比較は、SES 旅客船については「D 船」の平成 27 年度（第 2 回定期検査）～平成 31 年度までの 5 年間の合計費用、在来旅客船は「C 船」の平成 24 年度（第 3 回定期検査）～平成 28 年度までの 5 年間の合計費用にて検討した。

本調査結果より、SES 旅客船を普及させるためには、CPP アジマス推進装置等の新たなシステム構想により、在来船のメンテナンスコストと SES 旅客船のメリットを両立できる SES 旅客船の開発が重要になるものと推察する。