

船舶主機排熱利用VPC電力回収 システムの開発に関する研究 実施状況報告(最終報告書)

平成25年3月28日

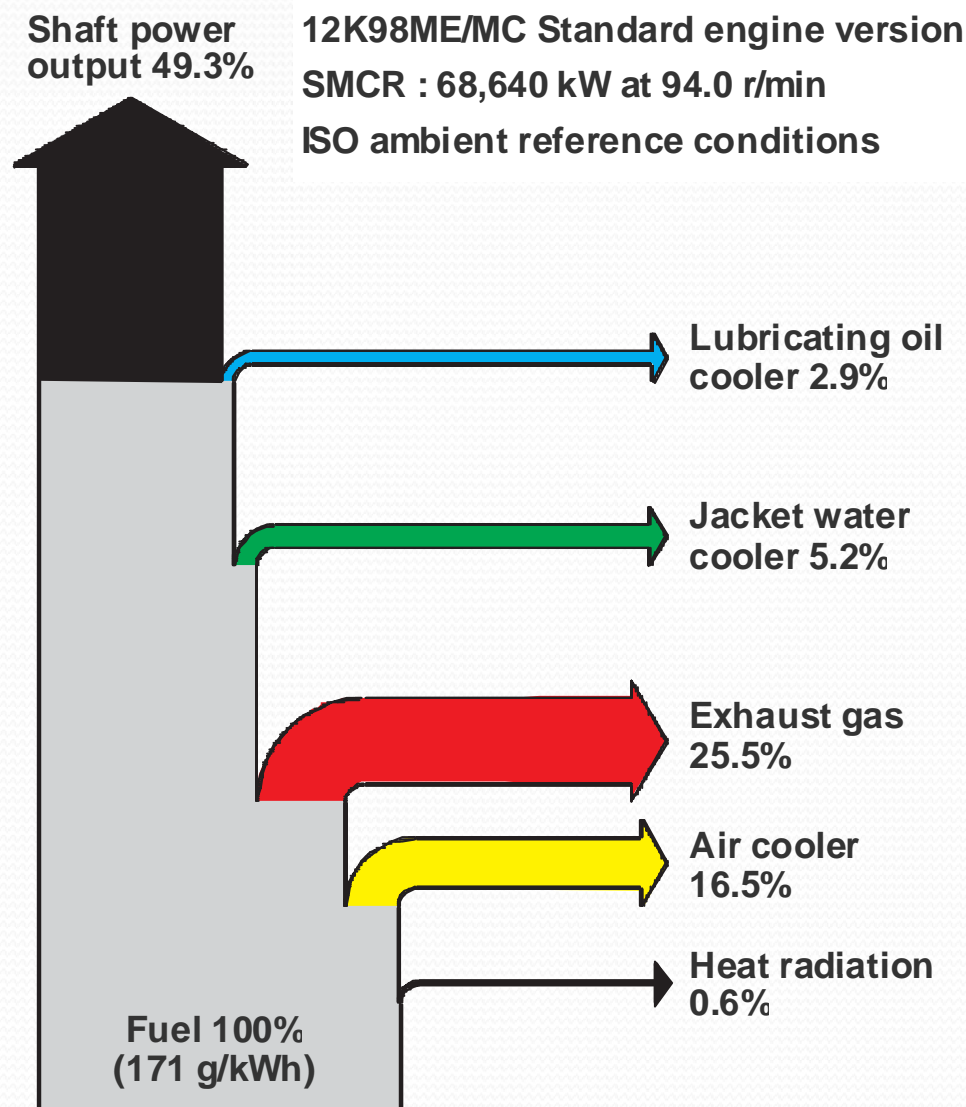
一般財団法人 日本海事協会
三井造船株式会社

目次

1. 事業の目的
2. 事業の目標
3. 事業内容
4. 成果の要約
5. VPC本船搭載要件の検討
6. 10kW級VPC試験
 - 6.1 MESフィールド試験
 - 6.2 東京海洋大学実習船搭載試験
7. 200kW級VPCの開発
 - 7.1 船用テストDE搭載試験
8. まとめ

1. 事業の目的

- 外航船主機関の主流である大型低速ディーゼル機関では、シリンダ最高圧の高圧化、静圧過給化、ロングストローク化、掃気流れの改良などにより熱効率を高めてきており、定格出力において最高約51%まで達しているが、その熱効率向上の余地は少なく、開発スピードは鈍ってきている。
- 近年、船用DEの燃料消費量およびCO₂排出量の削減方法の一つとして、投入燃料発熱量の約25%を占める排気エネルギーの有効活用(排熱回収)が注目されてきており、さらに投入燃料発熱量の約20%を占める機関冷却水および空気冷却器の排熱を利用することにより、一層のエネルギーの回収が可能となってきた。
- 本事業は、インタークーラーの排熱を利用したVPC(Variable Phase Cycle)発電装置の船舶への搭載を目指す。



2. 事業の目標

- 低温排熱回収VPCシステムの船舶への搭載を目的とした研究開発を行い、機関出力7,000kW-10,000kWクラスの主機を搭載した船舶において、2011年度から2カ年間にて、CO2排出量削減が可能なVPCシステムの研究、陸上試験および実船試験を行う。開発のターゲットは以下とする。
- 開発期間：2011年度から2カ年
- CO2削減率：2%
- システム出力：150-200kW

3. 事業内容

機関出力7,000kWクラスの船舶搭載主機の空気冷却器の冷却熱を利用した、船舶用VPC発電装置を以下のステップにより研究開発する。

- (1) 10kW級および200kW級の電力回収が可能なVPC発電装置のプロトタイプ機を開発する。
- (2) 10kW級装置について実習船へ搭載し、本船環境(温度、湿度、振動、動揺、電源)におけるVPC装置運転に関わる課題を抽出する。
- (3) 200kW級装置について弊社テストエンジンにて機能・性能の陸上試験検証を行い、本船搭載への課題を抽出する。
- (4) 本船搭載諸要件の整備に向けた調査検討を行う。
 - ・設計、製作、試験を通しての本船搭載課題・要件の抽出、対応
 - ・トラブル発生が船用主機に一切影響を及ぼさないための設置環境基準
 - ・作動媒体として利用している代替フロンの安全・衛生管理基準

4. 成果の要約

- (1) 10kW級および200kW級VPC発電装置プロトタイプ機の開発
10kW級: 導入及び性能確認試験終了
200kW級: 開発完了
- (2) 10kW級発電装置実習船搭載試験
実習船搭載VPCの設計、機器調達を完了し、本船搭載プランを策定
2013年1月本船搭載、1～3月にかけて搭載試験実施
- (3) 200kW級装置の機能・性能陸上試験と本船搭載への課題の抽出
12月中旬より機能・性能陸上試験を実施し、本船搭載への課題を抽出
- (4) 本船搭載諸要件の整備に向けた調査検討
下記について調査・検討した。
 - ・本船搭載課題・要件の抽出、対応
 - ・トラブル発生が船用主機に一切影響を及ぼさないための設置環境基準
 - ・作動媒体として利用している代替フロンの安全・衛生管理基準

5. VPC本船搭載要件の検討

- (1) 代替フロンが船舶主機に影響を及ぼさないための
設置対策、環境対策

VPC船級規則対応調査

M0運転対応安全措置

機器性能試験・立会試験項目

主機燃焼室に混入した場合の影響

- (2) 代替フロンの安全・衛生対策

主機機関室に漏洩した場合の影響

作動媒体の安全性と対策

5.1 VPC船級規則対応、機器性能 試験、立会試験項目

(財)日本海事協会と三井造船(株)が個別に
協議し、決定した。

5.1.1 VPC船級規則対応調査

VPC(Variable Phase Cycle)の船舶への搭載について (VPCを推進補機とする場合の船級規則対応についての確認)

2011年8月25日 三井造船株式会社
2011年8月29日NK通記(青字)
2011年8月30日NK修正(赤字)
2011年10月24日NK通記(緑字)

No.	項目	方針に関する確認事項 (8月16日打合せ内容について、別紙参照)	NK殿ご回答(Not Final)	該当する条項
1 基本方針				
1)	VPCの熱交換器を掃気冷却とすることについて	VPCが主機の補機の一部となるため、掃気冷却部は船級規則対象となると考えます(添付資料-1を参照下さい)。	掃気冷却部だけでなく、冷却システム全体が船級規則対象となります。	
2)	R245faを掃気冷却器に流すことについて	媒体循環想定は必要と考え、掃気冷却器に2重伝熱管方式を採用します。この場合、主機燃焼室へのR245faの混入はありません。この場合、他に何か検討すべき事項がありますか？	掃気冷却器及び機関室への冷媒の漏れに列し、以下の警報を設けて頂くことにより、2重伝熱管方式を採用する必要はありません。 1. 冷却タンクの低液面警報 2. 排ガス各シリンダ出口高温警報 なお、上記2. につきましては、MO船の場合、規則として要求されますので、特設の対応は必要ありません。	
3)	VPCで発電した電力を系統に接続することについて	VPCによる発電電力は、系統に接続します。接続時の系統電圧の安定化を図るため、VPC起動時に特機用ディーゼル発電機を立ち上げ系統の設備電圧容量を増強します。	特にごさいません。	
4)	主機運転上の注意点、制約について	掃気冷却器を2重伝熱管方式とすることでR245faの主機燃焼室への混入は無く、VPCシステムにトラブルが生じた際に、警報のみ発生することとし、自動減速や自動停止することなく、その時点での運転状況が継続できるため、問題ないと考えます。	特にごさいません。	
5)	NK-MO運転について	上記4)の警報装置により問題ないと考えますが、MO運転時にも発電装置として使用される場合、自動化設備規則を満足する必要がありますか？	MO運転時にも使用される仕様の場合、基本的には自動化設備規則の高気タービン発電機の要件を準用する方針です。実際に必要な安全装置及び警報については貴社より何かご提案をいただければ、それを元に検討させていただきます。 安全装置については2011年10月7日付メールにてご連絡頂きましたご提案のとおりで差し支えないものと考えます。	
6)	NOx規制について	陸上、海上試験およびテクニカルファイル記載事項などVPCを用いた運転状態を含め、NOx排出量の最も厳しい掃気温度条件を特定し、その状態でのNOx計測を実施します。また、テクニカルファイルには、VPCを装備した場合の運転モードを含めると共に、必要となるNOxパラメータを特定し記載することとします。 ただし、VPCの装備がNOx排出量の増加に寄与しないとして取換えるのであれば、NOxパラメータの特定は必要ないと思います。 この場合、NOx排出量が増加しないことの記載を行い、VPCを装備した場合の運転モードを含めることとします。 [8月29日打ち合わせ時保留事項] NOx計測時は、本船に搭載するVPCシステムを設置しての試験が必要か？既存のテストベッドの冷却のシステムのままの試験が可能か？	VPCのみで掃気冷却する場合、掃気冷却器はオフショントして取り扱うことができないため、NOxパラメータとしての定義が必要となります。 [8月29日打ち合わせ時保留事項回答] NOx計測時は、少なくとも、当該エンジンで使用されるVPC掃気冷却器を装備し、掃気温度条件を実際の運転条件に合わせて運転を行う必要があります。この条件が整えられるのであれば、コンデンサ、発電機、ポンプ等本船搭載のVPC冷却システムを装備しなくても問題ありません。 既存のテストベッドの冷却のシステムでは、VPC掃気冷却器を装備し、掃気温度の条件を実際の運転条件に合わせての試験とのことでしたので、冷媒の循環システムを装備する等の対策が必要と考えられます。	
2 船級規則の適用範囲				
1)	推進補機とする場合の船級規則の適用範囲	発電用タービン(ノズルを含む)を除き、システム全体が船級規則の適用範囲になると考えます。	発電用タービンを船級規則から除外条件として、下項1)のとおり、緊急時の分岐ラインを設けること及び発電用タービンバイパス時に冷媒タンクに列してコンデンサ容量を十分確保することが必要となります。 発電機については船級規則対象(下記3)(2)参照)	
3 各機器				
1)	タービン(ノズルを含む)	緊急時の分岐ラインを設けることにより、タービンは、船級規則対象外と考えますが、その他従うべき規則がありますか？	特にごさいません。 なお、緊急時の分岐ラインへの切替につきましては上記1.4)にありますが、船舶の運転を継続できるように操作していただきます。	
2)	誘導発電機	VPC誘導発電機は、船内給電を行う発電用ディーゼルと常に並列運転します(誘導発電機のため単独運転は不可です)。よって、VPCが故障した場合はVPC発電機を即時遮断し、遮断されたVPC負荷は並列運転していた発電用ディーゼル側に負荷移行されますので、船内電源は瞬断無く確保されます。発電機(電機側)から見れば、推進にのみ影響を与えません。船級規則の適用対象となるのでしょうか？	常時並列運転を行う誘導発電機が船級規則の対象となるのと同様、本機についても船内給電を行うことと船級規則の適用対象となります。従って、承認用として誘導発電機の図面を提出し、及び、H24141-1に掲げる試験が適用されます。 また、VPC誘導発電機とのパララン時や、VPC誘導発電機故障後により同機発電機に負荷移行が起こった場合など如何なる状況下においても、H24141に掲げる誘導特性や電圧変動特性を満足する必要があります。	規則1.2.1(製造工場における試験)
4 配管・配置				
1)	配管の要求仕様	以下対応しますが、特殊仕様の場合は、必要に応じて別途協議をお願いします。	以下対応しますが、特殊仕様の必要性(材質、接続部など)はありますか？ [3] 配管の要件の適用 使用禁止材料: 強酸、強塩基、細かいアルミ粉末、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、亜鉛、バリウム、リチウム、強酸化剤	
2)	設計圧力	設計圧力の考え方は以下とします。 高圧側(ポンプ吐出～タービン上流側)での飽和蒸気圧(R245faの場合: 55℃、35bar程度)、低圧側(タービン下流～ポンプ吸込側)での飽和蒸気圧(45℃、2.5bar程度)の耐圧設計条件を考慮します。 これは、運転時だけでなく、停止時の設備環境における安全性を考慮した要件とします。	設計圧力の考え方は以下とします。 高圧側(ポンプ吐出～タービン上流側)での飽和蒸気圧(R245faの場合: 55℃、35bar程度)、低圧側(タービン下流～ポンプ吸込側)での飽和蒸気圧(45℃、2.5bar程度)の耐圧設計条件を考慮します。 これは、運転時だけでなく、停止時の設備環境における安全性を考慮した要件とします。	
3)	弁類について	JIS等適切な規格品であれば十分とします。ただし、特殊バルブの場合、使用承認の取得が必要であるとします。 特殊バルブの範囲に入る弁にはどのようなものがありますか？ また他に、要求仕様がありますか？	JIS等適切な規格品であれば十分とします。ただし、特殊バルブの場合、使用承認の取得が必要であるとします。 特殊バルブの範囲に入る弁にはどのようなものがありますか？ また他に、要求仕様がありますか？	
4)	配置上の制限	VPCシステム排熱回収部と発電部は機関室内で別置き配置となりますが、設計上考慮すべき船級規則要求はないと考えます。	VPCシステム排熱回収部と発電部は機関室内で別置き配置となりますが、設計上考慮すべき船級規則要求はないと考えます。	
5 安全対策				
1)	R245faの機関室への漏れについて	R245faの機関室への漏洩は、まず、無いと考えます。ただし、引火性及び毒性はないものの、空気をより濃く、機関室下部に濃ガスが滞留した場合の窒息に対する安全性: 漏れ検知システムを要を検討します。	R245faの機関室への漏洩は、まず、無いと考えます。ただし、引火性及び毒性はないものの、空気をより濃く、機関室下部に濃ガスが滞留した場合の窒息に対する安全性: 漏れ検知システムを要を検討します。	
2)	R245faが機関室に漏れた場合の対策について	運転情報入手後の対応指針は作成しますが、類似の指針はありますか？	類似の演流対応指針などは特ありません。CO2消火装置のマニュアル等が参考になるかと思えます。	
3)	検査、工場試験について	ポンプの出力が7.5kWを超える場合、船上にて配管組立後、設計圧力の0.9倍の圧力で漏れ試験を実施します。 その他、船級規則適用事項はありますか？	ポンプの出力が7.5kWを超える場合、船上にて配管組立後、設計圧力の0.9倍の圧力で漏れ試験を実施します。 その他、船級規則適用事項はありますか？	上記3項の各機器に対する製造工場における試験が必要です。

VPC(Variable Phase Cycle)の船舶への搭載について (VPCを推進補機とする場合の船級規則対応についての確認)

2011年8月25日 三井造船株式会社
2011年8月29日NK通記(青字)
2011年8月30日NK修正(赤字)
2011年10月24日NK通記(緑字)

No.	項目	方針に関する確認事項 (8月16日打合せ内容について、別紙参照)	NK殿ご回答(Not Final)	該当する条項
3)	VPC掃気冷却器	以下の「圧力容器の種類」に応じた対応をします。 - 設計圧力 > 1.0MPa、又は設計温度 > 150℃: 図面承認: 必要 検査: ①材料試験 ②溶接検査 ③耐圧試験(設計圧力の1.5倍) ④気密試験(設計圧力) - 設計圧力 < 0.7MPa、又は設計圧力 < 2.0MPa & 設計温度 < 150℃ & 容量 < 5000lは不要 検査: ①材料試験(設計圧力の1.5倍) ②溶接検査 ③耐圧試験(設計圧力の1.5倍) ④気密試験(設計圧力)	図面承認及び検査は以下の通りとなります。 図面承認: 必要 検査: ①材料試験 ②溶接検査 ③耐圧試験(設計圧力の1.5倍) ④気密試験(設計圧力)	
4)	コンデンサー	- 設計圧力 < 1.0MPa & 設計温度 < 150℃: 図面審査及び検査は不要	図面承認及び検査は以下の通りとなります。 図面承認: 不要 検査: ①耐圧試験(設計圧力の1.5倍) ②気密試験(設計圧力)	
5)	冷媒循環ポンプ		製造工場における運転試験及び受圧部の水圧試験(成績書提出可)が必要	
6)	電動機(インバータ回転数制御付き)		日本籍については容量に係らず重要用途の電動機は立検査が要求されます。また、外国籍にについては、重要用途かつ100kW以上の電動機に対して、立検査が要求されます。	
7)	インベントリータンク(リザーバータンク)		4)コンデンサーと同じ	
8)	制御盤	電動機始動器としての図面承認及び検査は不要とします。その他、2) 参照下さい。	上記6)同様、電動機が立検査の対象であれば、その制御盤も立検査が要求されます。	規則及び要領H編 1.2.1-1 規則H編2.8.4 (製造工場における試験)
9)	その他	その他、確認事項はありますか？	特にごさいません。	
4 配管・配置				
1)	配管の要求仕様	以下対応しますが、特殊仕様の必要性(材質、接続部など)はありますか？ [3] 配管の要件の適用 使用禁止材料: 強酸、強塩基、細かいアルミ粉末、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、亜鉛、バリウム、リチウム、強酸化剤	以下対応しますが、特殊仕様の必要性(材質、接続部など)はありますか？	材質、接続部などには、左記の要件以外に特殊仕様の必要性は特ありません。
2)	設計圧力	設計圧力の考え方は以下とします。 高圧側(ポンプ吐出～タービン上流側)での飽和蒸気圧(R245faの場合: 55℃、35bar程度)、低圧側(タービン下流～ポンプ吸込側)での飽和蒸気圧(45℃、2.5bar程度)の耐圧設計条件を考慮します。 これは、運転時だけでなく、停止時の設備環境における安全性を考慮した要件とします。	設計圧力の考え方は以下とします。 高圧側(ポンプ吐出～タービン上流側)での飽和蒸気圧(R245faの場合: 55℃、35bar程度)、低圧側(タービン下流～ポンプ吸込側)での飽和蒸気圧(45℃、2.5bar程度)の耐圧設計条件を考慮します。 これは、運転時だけでなく、停止時の設備環境における安全性を考慮した要件とします。	問題ありません。
3)	弁類について	JIS等適切な規格品であれば十分とします。ただし、特殊バルブの場合、使用承認の取得が必要であるとします。 特殊バルブの範囲に入る弁にはどのようなものがありますか？ また他に、要求仕様がありますか？	JIS等適切な規格品であれば十分とします。ただし、特殊バルブの場合、使用承認の取得が必要であるとします。 特殊バルブの範囲に入る弁にはどのようなものがありますか？ また他に、要求仕様がありますか？	冷凍用弁等の規格品以外の弁は、特殊バルブとして扱っております。
4)	配置上の制限	VPCシステム排熱回収部と発電部は機関室内で別置き配置となりますが、設計上考慮すべき船級規則要求はないと考えます。	VPCシステム排熱回収部と発電部は機関室内で別置き配置となりますが、設計上考慮すべき船級規則要求はないと考えます。	特にごさいません。
5 安全対策				
1)	R245faの機関室への漏れについて	R245faの機関室への漏洩は、まず、無いと考えます。ただし、引火性及び毒性はないものの、空気をより濃く、機関室下部に濃ガスが滞留した場合の窒息に対する安全性: 漏れ検知システムを要を検討します。	R245faの機関室への漏洩は、まず、無いと考えます。ただし、引火性及び毒性はないものの、空気をより濃く、機関室下部に濃ガスが滞留した場合の窒息に対する安全性: 漏れ検知システムを要を検討します。	
2)	R245faが機関室に漏れた場合の対策について	運転情報入手後の対応指針は作成しますが、類似の指針はありますか？	類似の演流対応指針などは特ありません。CO2消火装置のマニュアル等が参考になるかと思えます。	
3)	検査、工場試験について	ポンプの出力が7.5kWを超える場合、船上にて配管組立後、設計圧力の0.9倍の圧力で漏れ試験を実施します。 その他、船級規則適用事項はありますか？	ポンプの出力が7.5kWを超える場合、船上にて配管組立後、設計圧力の0.9倍の圧力で漏れ試験を実施します。 その他、船級規則適用事項はありますか？	上記3項の各機器に対する製造工場における試験が必要です。

5.1.2 機器性能試験・立会試験項目

鋼船規則に準拠し、本船搭載を考慮した機器性能試験・立会試験項目を決定。

機器名称	NK殿 図面承認	NK殿 工場試験立会	備考
タービン	不要	不要	米国製
発電機及び 制御盤	必要	H.2.4.15に掲げ る試験	米国製
冷媒循環 ポンプ	不要	水圧テスト及び 性能試験	米国製
同上用電動機 (75kW)	不要	不要	米国製
凝縮器	不要	耐圧試験及び 気密試験	国内

5.2 M0運転対応安全措置

VPCにおけるタービン安全装置

- (a)過回転
- (b)異常振動
- (c)入口圧力”高”
- (d)入口温度”高”
- (e)シールエア圧力”低”

<補足説明>

- ① VPタービンは発電機ローター軸に直接取り付けられているため軸受を持たず、内部媒体はダブルメカニカルシールにより外部への漏えいはない。
- ② タービンの羽根は頑健で、背圧が上がっても破損しない構造となっており、従って背圧高によるトリップは不要。

5.3 主機燃焼室へ混入した場合の影響

- ・R245faが燃焼室内に混入した場合であっても、R245fa自体が不燃性であること、また、圧縮による爆発の可能性がないことにより、燃焼室内で異常爆発或いは異常燃焼を起こすことはない。
- ・R245faが燃焼室に混入した場合の反応について、異常爆発・異常燃焼を引き起こす可能性はない。
- ・VPC掃気冷却器では、R245faの熱分解温度には達しないため、この段階で熱分解によりフッ化水素が発生する可能性はない。
- ・万が一の漏洩に備え、インベントリタンク内の液面計を監視する。

* 日本フルオロカーボン協会及び九州大学総合理工学研究院 高崎教授から聴取したコメントに基づく

5.4 代替フロンの安全・衛生対策

(1) 媒体R245faが主機関室に漏洩した場合の影響

・R245faは、高濃度ガスの存在下、液体または霧状のものと直接接触した場合に窒息または炎症等をおこす可能性がある。しかしながら、仮に、VPCシステム内のR245faが全量漏洩した場合でもガスの発生量及び機関室に占める割合はごくわずかであり、通常の換気系で対応可能である。

・万が一の漏洩に備え、インベントリタンク内の液面計を監視する。

(2) 媒体の化学物質等安全データシート*(MSDS)の周知

- ・高濃度ガス、液体または霧状のものと直接接触した場合の対策である。
- ・安全対策、緊急対策、応急措置、保護装置等を運転マニュアルへ反映する。
- ・危険有害性シンボルを主要機器へ添付、明示し、注意喚起を行う。



* 日本フルオロカーボン協会 2010年 5月 1日 改定

6. 10kW級VPC試験

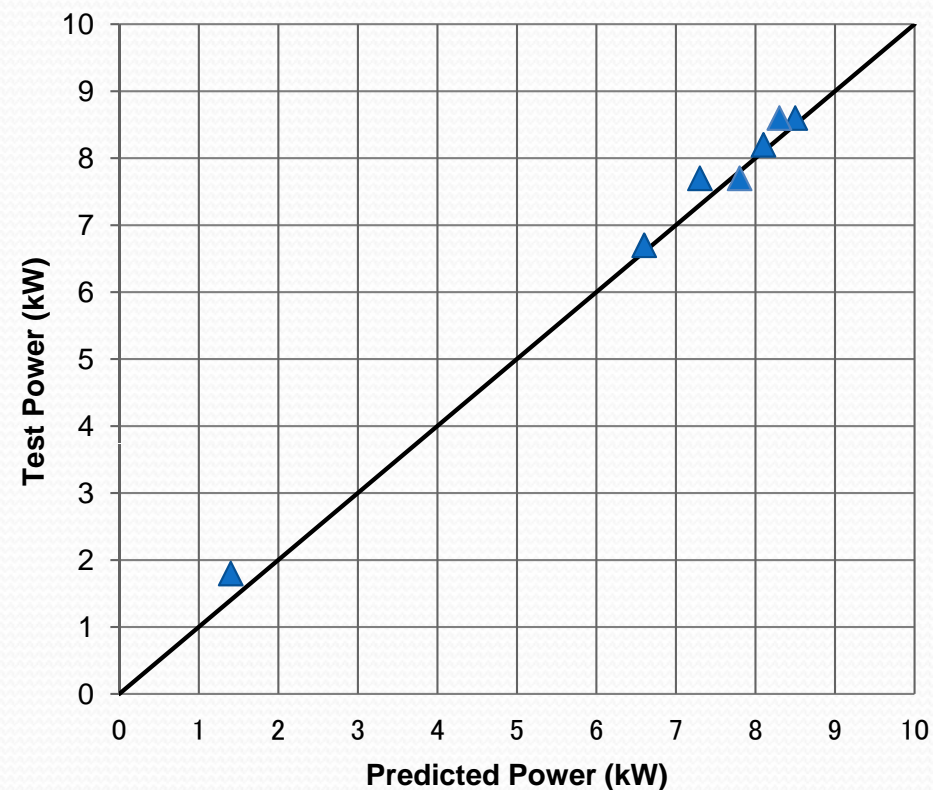
(1) MESフィールド試験

(2) 東京海洋大学実習船搭載試験

6.1 10kW級VPC MESフィールド試験



10kW級VPCユニット



実機試験でのタービンの性能評価として同条件でのシュミレーション結果と比較して誤差3%以内の結果が得られた。

6.2 東京海洋大学実習船搭載試験



汐路丸

船舶番号	129829	全長	49.93m
信号符字	JG4644	型幅	10.00m
IMO番号	8608561	型深さ	3.80m
船籍港	東京	機関	ディーゼル×1
船主名	(大)東京海洋大学海洋工学部	機関馬力	1,400PS (1,030kw)
造船所名	石川島播磨重工業 東京	航海速力	14.12ノット
建造番号	2957	旅客定員	生徒等50名
起工年月	1986年5月	積荷	
竣工年月	1987年2月	備考	航海練習船
総トン数	425トン		

- (1) 本船環境（温度、湿度、振動、動揺、電源)におけるVPC 装置運転に関わる課題の抽出と対応策検討
- (2) 出力の確認と性能シミュレーションとの比較評価
- (3) 主要機器は、MES フィールド試験設備を流用搭載

6.2.1 実習船VPC試験装置

試験装置



陸上調整

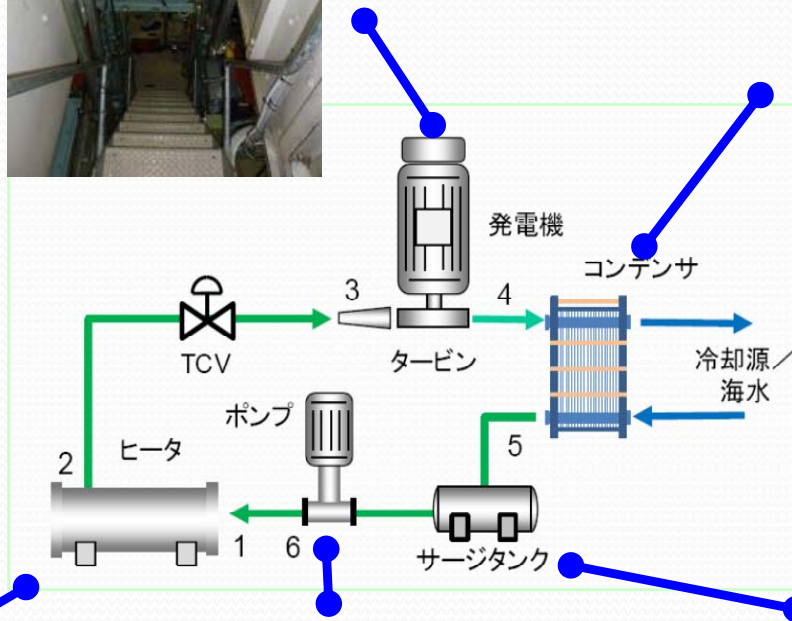


電気ヒータ(熱交換機代替)

タービン-発電機



実習船搭載



コンデンサ



ポンプ



サージタンク



6.2.2 実習船VPC試験結果と考察

試験場所	汐路丸 (Sea Going)	MES玉原
電気出力(kW)	1.20	0.91
性能シミュレーション結果	1.27	0.86
実験値との比較	-5.7%	+5.6%

性能シミュレーション結果は下記の式より算出

$$P(\text{kW}) = F \times (E_{\text{in}} - E_{\text{out}}) \times \eta_n \times \eta_r \times \eta_g$$

F : 流量(kg/sec), E_{in} : タービン入口エンタルピー(kJ/kg),

E_{out} : タービン出口エンタルピー(断熱膨張後)(kJ/kg),

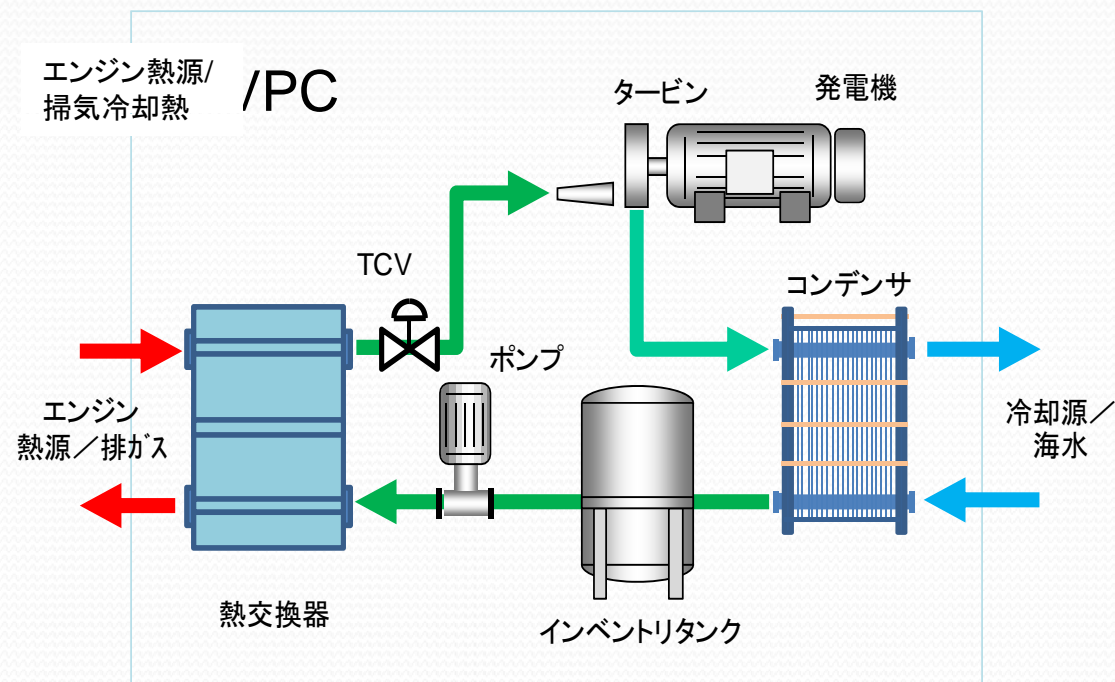
η_g : 発電機効率=0.92,

η_n : ノズル効率 及び η_r : ローター効率 はERG社算出の結果を引用

試験結果の発電出力は性能シミュレーション結果と同等であることを確認した。

7. 200kW級VPCの開発

7.1 船用テストDE搭載試験



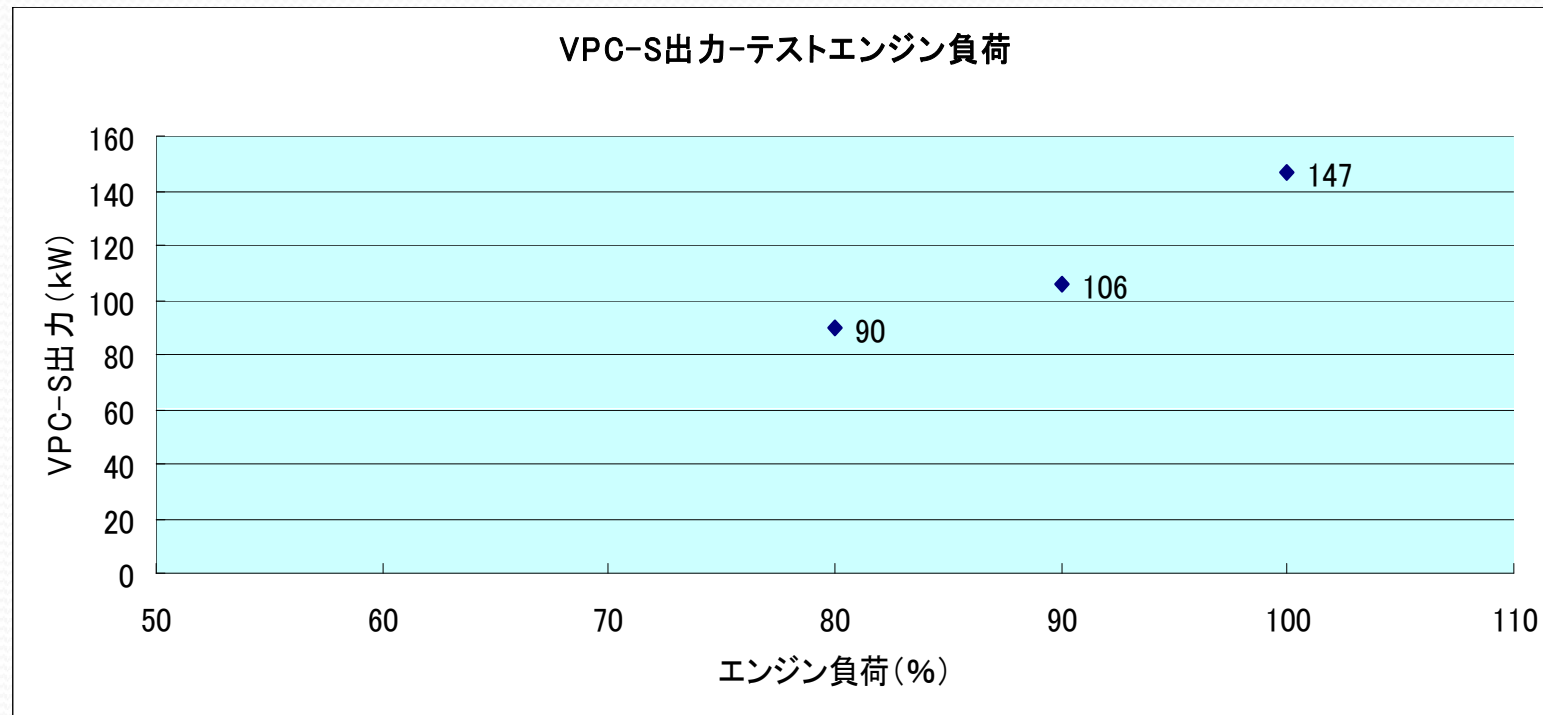
- (1) テストエンジン100%負荷で200kW級VPCの実機性能(85%MCR条件)を確認する。発電端出力200kW、送電端出力150kW
- (2) 実運転時の運転・制御技術の最終確認
- (3) 高負荷運転時の動作特性把握

7.2 テストDE搭載試験結果

平成25年2月25日に実施したテストエンジン負荷100%に於ける性能試験の実機運転条件を計画運転条件と比較すると下記の通りである。

項目		単位	計画運転条件	実機運転条件
R245fa	SAC入口圧力	barA	24.9	23
	SAC入口温度	°C	28.1	12.3
	SAC入口エンタルピー	kJ/kg	237.4	216.56
	SAC出口圧力	barA	24.2	22.4
	SAC出口温度	°C	129.9	127.6
	SAC出口エンタルピー	kJ/kg	390.3	404.6
	流量	kg/h	50,585	31918
掃気冷却器からの入熱量		MJ/h	7,734	6,002
計画値に対する入熱量比			100%	78%
VPC-S予想出力		kW	183.3	142.2

7.3 テストDE搭載試験結果の考察



考察:テストエンジン100%負荷に於ける掃気冷却器からの受熱量によると予想出力は142kWであるが実際には147kWの出力が得られたことより、計画通りの性能が出たことを確認した。

8. まとめ

事業内容に示した内容をほぼ達成し、
事業目標である機関出力7,000kW-10,000kW
クラスの主機を対象とし、CO2削減率2%、
システム出力150-200kWのVPCシステムを
開発した。