

LNG 船の寿命延長技術の現状 — ライフ・サイクル・バリュー(LCV) 向上へのチャレンジ

Life Extension Technology on LNG Carrier
- Challenge to Enhance the Life Cycle Value
(LCV)

湯 浅 和 昭^{*1}
Kazuaki Yuasa

横 浜 和 俊^{*2}
Kazutoshi Yokohama

田 村 邦 夫^{*3}
Kunio Tamura

白 木 原 浩^{*4}
Hiroshi Shirakihara

佐 藤 宏^{—*5}
Koichi Sato



LNG 船は長期プロジェクト向けの高付加価値船であるので、安全で経済的な安定運航を図ることが最重要課題である。当社では、最新の LNG 船については、当社独自の疲労解析技術に基づく長寿命型詳細構造を採用して信頼性向上を図っている。また、就航中の LNG 船については、お客様とアライアンス（同盟関係）を組んだホーム・ドクター方式による長期補修を行っており、安全・安定運航のお手伝いをしている。LNG 船は、大型化・性能改善によって運航経済性の向上を図ることは勿論のこと、生涯価値（ライフ・サイクル・バリュー：LCV）を高める為の構造・設備の採用と安定した保守・整備が益々重要になっている。

1. はじめに

当社は、液化ガス船のパイオニアとして1962年世界初の低温式LPG船を建造、以来、大型液化ガス船の開発・建造を一貫してリードし続けており、世界第一位の建造実績を誇っている。

LNG 船新造については、1983年以降26隻の大型 LNG 船を竣工しており、特に1990年代終盤以降、詳細疲労解析を実施して長寿命型構造を採用している。また、LNG 船の修繕では、1973年以降複数のお客様とアライアンスを組んで、ホーム・ドクター方式による長期補修を行っており、さらに最近では特殊な寿命延長工事も施工して老朽船の若返りを図っている。

新造船、修繕船に関する当社のこのような取り組みは、お客様のニーズに合致し好評を得ている。

本論文では、先ず当社の LNG 船の新造・修繕の現状を概括する。次に、最近のモス船及びメンブレン船で実施した構造解析、特に、詳細疲労解析の結果を紹介し、当社の最新の寿命延長技術を説明する。また、就航 LNG 船の修繕に関して、長期保守計画を実現する為の技術の概要、特に、予防保全、ホーム・ドクター方式等の寿命延長技術を解説する。

2. 当社の LNG 船の現状

2.1 新 造 船

当社では、1983年に125 000 m³型 LNG 船を竣工し

た後、オーストラリア・ノース・ウエスト・シェルフ・プロジェクトで、いわゆる、第2世代の LNG 船を開発・建造した。この第2世代船は、低ボイルオフレート（BOR）と強制蒸発装置の組み合わせによって推進プラント用の燃料選択の自由度を増した点と、長期メンテナンスを考慮して、構造配置、材料選定、塗装仕様等に細心の注意を払って設計展開し詳細な構造・仕様を決定している点が大きな特徴で、現在でも当社 LNG 船の基本設計思想となっている。

近年では、LNG 船用再液化装置の実用化による燃費の低減、環境に優しい LNG 船の実用化、高度疲労解析による信頼性の更なる向上、大型化による経済性向上等を図り、新造船の LCV 向上を推進している。

また、2002年以降はガストランスポート方式メンブレン船も建造しているので、お客様の要求に合わせて、モス船、メンブレン船の選択も可能となった。

2.2 修 繕 船

当社は、他社建造 LNG 船も含めた修繕工事で圧倒的な実績を誇り、寿命延長工事にも取り組んでいる。

1973年以降、ブルネイ、マレーシア、インドネシア、オーストラリア向けの LNG 船で順次長期メンテナンス契約を結び、継続的に修繕工事を行っている。

当社修繕で扱っている LNG 船は、テクニガス方式、ガストランスポート方式の2種類のメンブレン船合計17隻と、モス船12隻で、メンブレン船修繕は主として横浜製作所、モス船修繕は主として長崎造船所にて

^{*1} 船舶・海洋事業本部船舶技術部商船計画グループ長

^{*2} 横浜製作所修繕部主席技師

^{*3} 横浜製作所修繕部工担・設計グループ長

^{*4} 長崎造船所造船設計部船殻設計課主席

^{*5} 長崎造船所造船設計部計画課

各々行っている。

3. 新造LNG船の寿命延長技術—疲労解析

3.1 LNG船の疲労解析技術

近年、LNG船の長期耐用化ニーズを背景に、船体疲労解析の広範囲への適用が求められる中、荷重解析や応力解析における要素技術の発達やコンピュータの能力向上に伴い、新造船に対する疲労解析の仕様が高度化している。さらにLNG需要のグローバル化により従来の極東～中東中心の荷動きに加え大西洋航路等の比率が上がっており、特定航路の波データを反映した疲労強度解析が要求される場合もある。また、最近の新造船においては、長期設計疲労寿命を確保し、各船級協会における疲労精査ノーテーション(登録符号)をお客様から要求される場合が増えている(例として、LR ShipRight FDA, DNV CSA-2, PLUS-2等)。当社は1980年代から継続して荷重～応力一貫解析による疲労解析技術の開発、及び実船への適用を行っており、上記のようなお客様のニーズに柔軟に対応している。以下、モス船とメンブレン船における事例を紹介する。

3.2 モス船における解析事例

当社の新設計145 000 m³モス型LNG船の船体構造に対して大規模なスペクトル解析を実施した例を図1に紹介する。解析は、(Step1)北大西洋の波スペク

トルに基づく波浪荷重計算、(Step2)全船FEMモデルによる波浪中応答解析、(Step3)部分詳細FEMモデルによる局部応力計算、(Step4)疲労寿命計算の手順で実施された。図中には一般的な疲労チェックポイントである内殻ナックル部、及びモス船で特徴的な構造であるタンクカバーの船体接合部の例を示す。他にも大骨の構造不連続部、ロンジ(縦通肋骨)の交差部等20個以上の詳細FEMモデルを使用し、カーゴホールド部全域の5 000箇所以上の評価対象に対し北大西洋40年の設計疲労寿命を確認した。一方、タンクシステムに対してはIMOガスコードタイプB要件の疲労解析が要求されるが、球形タンク専用にメッシュ作成及び疲労寿命計算の自動処理プログラムを当社独自で開発し、多くのチェックポイントに対して短期間で高精度の疲労評価が可能である。

3.3 メンブレン船における解析事例

ガストラנסポート方式メンブレン船はタンクシステムの応力制限上船体縦部材は、疲労強度面で十分な余裕を持った設計となっているので、外水圧とタンク荷重に対する主桁部材の疲労強度が主な精査対象となる。特に防熱層とバラストタンクの境界である内殻(Inner hull)の構造不連続部は疲労強度上の重要ポイントであり、図2に示す詳細なFEM解析を実施し、想定航路で疲労寿命クライテリアを満足する事を確認した。航路や寿命に関する仕様変更に対しても都度波

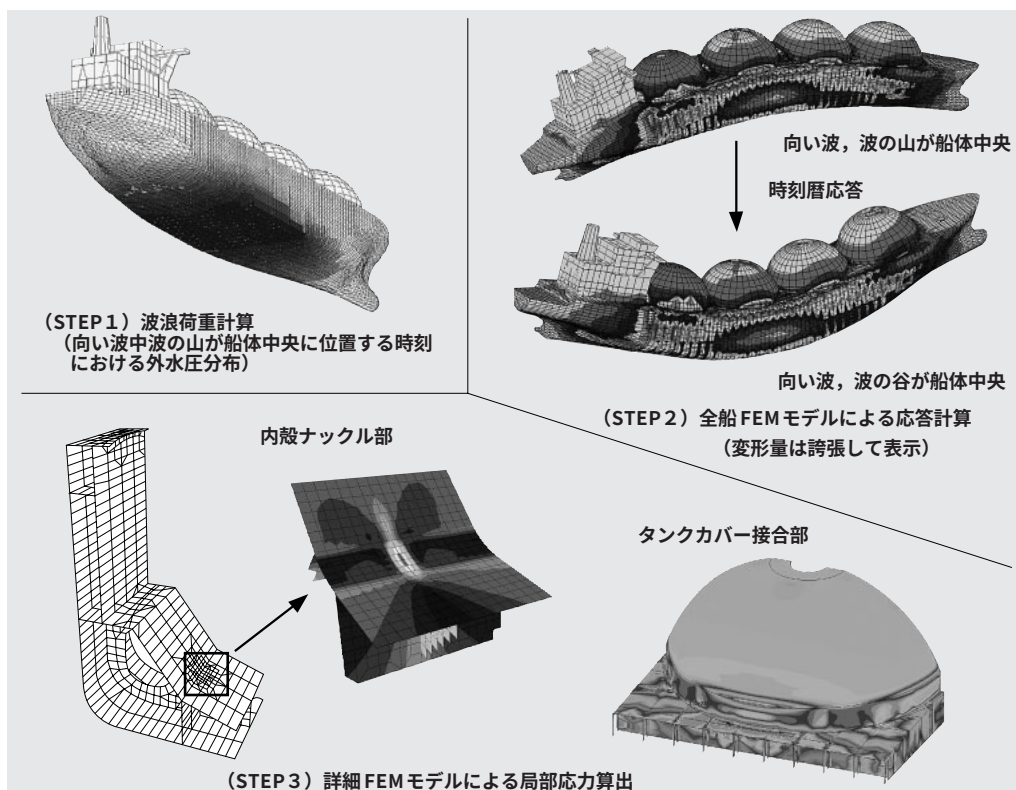


図1 モス船の疲労解析事例 全船モデル及び部分詳細モデルを用いたFEM解析により波浪中の局部変動応力を算出し、結果を統計処理することにより疲労寿命を推定した。

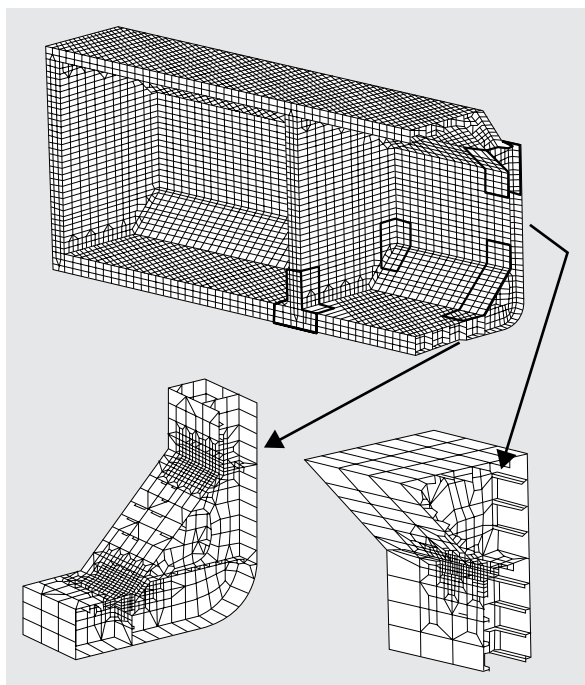


図2 メンブレン船の疲労解析事例 防熱層に接する内殻構造不連続部に対して詳細FEM解析を実施し、十分な疲労寿命を確認した。

浪データ／波浪スペクトルに基づく統計解析を実施し、結果に応じて局部寸法を調整することでフレキシブルに対処可能である。また、タンカー等での疲労強度上の重要ポイントであるロンジ（縦通肋骨）に関しても、想定航路の波データに基づくスペクトル解析を実施し、要求されたクライテリアを満足することを確認している。

4. 就航LNG船の寿命延長技術－予防保全

4.1 保守技術全般

LNG船にとって安全・安定運航が最重要項目であり、船舶の保守整備の重要性が再認識されている。

高付加価値船であるLNG船は、通常の船舶よりも長く運航される傾向がある。最近では船齢が20年以上の船が増加しておりその傾向は今後更に顕著になると判断される。

このような状況下では適切な保守技術のもとで船舶の保守整備を行うことが重要である。船舶の保守は改良保全（Corrective Maintenance）と予防保全（Preventive Maintenance）に大別される。

改良保全はトラブル発生後にその時点で対応を検討して対策を実施する保全方法である。高付加価値船であるLNG船の場合、トラブル発生後の対応には、予備品の入手可否、時間的制約など多くの制約がある。したがって、トラブル発生を未然に防止する予防保全技術がよりいっそう重要となる。その詳細を次項に述べる。

4.2 予防保全

予防保全はトラブル発生を未然に防止することを目的にしており、LNG船に対して適切な保全方法であると言える。

予防保全のメリットは特にカーゴシステムにて顕著であり、トラブル発生による停船という事態を防止する効果大きい。主なメリットは以下の通りである。

- 船舶の稼働中には修理が不可能であるカーゴシステム（カーゴタンク、カーゴポンプ、カーゴパイプ等）に対する調査、修理の事前計画立案と定期的なドライドック時での工事施工が可能。
- 工事計画の事前実施による品質向上、コスト削減。
- 必要機材、部品、材料等の手配に十分なリードタイムを取ることができ、結果としてドック日数の削減に寄与する。
- 延命工事への円滑な移行
- 同型船、シリーズ船への効率的な展開が可能。

予防保全は、時間ベース、寿命ベース、使用頻度ベース、状態ベース、機会ベース、陳腐化機器の交換等に分類されるが、各船の特性に応じて保全項目を上記区分にあてはめ、適切な保全を行うことが重要である。

船齢が概ね5年から20年の間に実施する予防保全の良否が船の状態を大きく左右している。

4.3 ホーム・ドクター方式

LNG船修繕ではお客様と修繕ヤードがアライアンスを結んで船の定期的な修理（refit）を行うと同時に就航中の船についても常に必要な修理、調査、技術情報提供などを行うホーム・ドクター方式が多く採用されている。この方式の利点はお客様、ヤード双方が必要な情報（修理のノウハウ、長期にわたる時系列的な修理履歴など）を詳細な点まで共有しLNG船の安全で信頼性の高い運航に寄与する点で、特に建造後20年を超えた高齢船に対して大きな効果を持つ。当社では1973年以降、ホーム・ドクターとしてモス、メンブレン両方式のLNG船修繕を実施し、その回数は250回以上（定期修理ベース）となって豊富な経験とデータ、ノウハウの蓄積を有している。またホーム・ドクターとしての要件の一つとしてトラブルシューティングを行う組織を持つことがあげられるが、当社では長崎研究所、横浜研究所がその任にあたりお客様のニーズに応えている。

4.4 延命工事

高付加価値船であるLNG船は船齢が20年を超えても良好な状態で運航されることが多く、中には現時点で30年を超え、40年以上の運航を計画しているプロジェクトが存在する。LNG船の延命のためにはある船齢において船体部、機関部、電気部、カーゴシス

ムの各々について延命工事を実施する必要がある。延命工事の施工法としては船齢が10年あるいは15年を超える頃から通常2.5年に一度施行されるドック工事の際に船殻の詳細調査や修理、機器・装置類の更新などを順次行う場合と、船齢20年程度を目処に大規模な延命工事を実施する場合とがある。当社ではこれら2つのパターン何れにも対応してLNG船延命工事を施工している。図3に近年当社にて行った延命工事のフローチャートを示す。

延命工事は工事の種類と範囲が多岐にわたると同時に工事量に対して工期が短いという特徴がある。また、

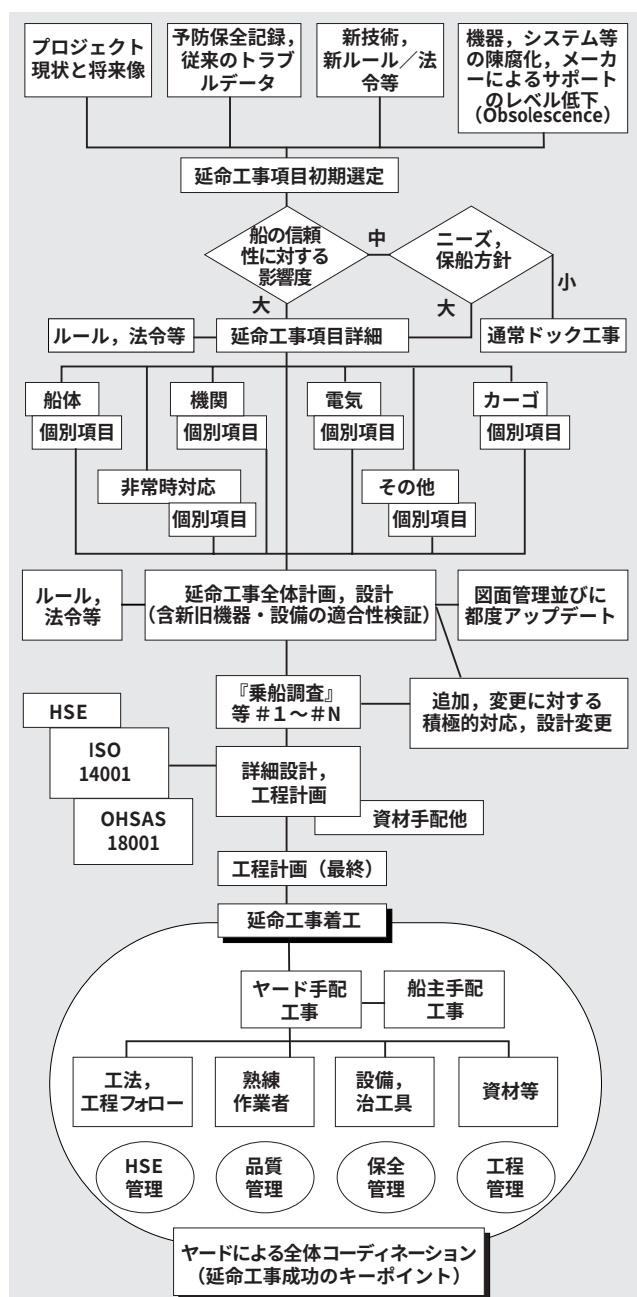


図3 LNG船延命工事フローチャート プロジェクトの将来計画、本船の予防保全の記録、規則の動向、本船の機器の状況等を踏まえて、先ず延命工事項目・内容を計画する。次に、本船の乗船調査等を通じて詳細な計画を行った上で、実際の延命工事を施工する。

特に海外ヤード建造船では、シリーズ船であっても詳細部は異なっていることも多い。このため、設計、工事計画の両面において複数回の乗船調査などをも含むきめ細かい現場調査の実施が重要である。さらに、延命工事では計画中、着工後の何れにおいてもチャーター先の変更などお客様ニーズが変化する場合も多く、その都度新しいニーズに対応工事が発生するため、限られた時間内で素早く追加、変更工事に対応する必要がある。またヤード工事、船主手配工事の両方をヤード側が広い目で見ることによるヤード主導のトータルコーディネーションが工事を成功させるか否かのキーポイントになる。したがって、延命工事においては実績があり、信頼できるヤードを選定することが重要と言える。

5. ま と め

LNGの生産から供給に至るチェーンコスト低減に向けた各種の提案が議論されている。当社では、大型化、次世代推進プラント、タンクの改良提案等の技術開発に加えて、新造船・修繕船の寿命延長技術を適用して、お客様のニーズにあったLNG船のLCV向上を図れるものと期待する。

LCV向上へのチャレンジには、関係先の協力が不可欠である。これまでの協力を感謝するとともに、安全性・信頼性・経済性の高いLNG船を実現するために、今後とも関係者の協力のもと、LCV向上に努めて行きたい。

参 考 文 献

- (1) Itoyama, N. et al., A New Generation of Spherical Tank LNG Carrier, LNG9 (1989)
- (2) 湯浅和昭ほか, LNG船の技術動向と将来展望, 三菱重工技報 Vol.37 No.5 (2000)
- (3) Yuasa, K., et al., Challenges of Mitsubishi GTT Membrane LNG Carrier, Gastech2000 (2000)
- (4) Yuasa, K., et al., Refurbishment Works for Life Time Extension of LNG Carriers - To Enhance Safety and Reliability, LNG-14 (2004)



湯浅和昭



横浜和俊



田村邦夫



白木原浩



佐藤宏一