16,000トン型
ケミカルタンカーの船型開発

1. はじめに

2020年5月、SRCが船型開発に関わった福岡造船殿の16,000DWT型ケミカルタンカーが無事船主殿に引き渡されました。

船型開発の依頼者である福岡造船殿は、1930年創業という長い歴史を持つ造船所です。ケミカルタンカーを主体とし、油槽船、セメント船、LPG船、Ro/Ro船、多目的貨物船、冷凍運搬船、バルクキャリア、フェリーなど多様な船舶を建造しています。福岡県と長崎県に主要な製造拠点を持つとともに、2018年1月に長崎の渡辺造船を、同年4月には大分の臼杵造船所をグループ化し、様々なニーズに対応できる造船所として成長を続けています。

主力の造船所であり本社でもある福岡工場は、造船所としては珍しく主要な公共交通機関から無理なく歩いていくことができます。この船型開発業務の打合せのため何回か事務所にお邪魔していますが、大都会博多の地下鉄の最寄り駅から歩いて10分程度、福岡空港で飛行機を下りてからでも1時間足らずで事務所についてしまいます。こうした地の利は、福岡造船殿のビジネスに有形無形のメリットをもたらしているものと想像します。

福岡工場の全容を見たければ、車で都市高速環状線に乗ることをお勧めします。福岡空港や博多駅から高速に乗り海の方に向かうと、博多漁港にかかる荒津大橋を渡ります。高速道路ですから車を止めるわけにはいきませんが、高速バスなど座席位置の高い車からは進行方向左手斜め下に、コンパクトにまとまった造船所と建造中の船を、博多の街並みをバックに見ることができます。

2017年10月、以上紹介した福岡造船殿よりSRC総合コンサルティング事業室宛に船型開発に関する1通のメールが届きました。その後何回かの下打合せの結果、新船型開発に際しSRCが推進性能改善のお手伝いをすることが決まり、その実務はSRC試験センターが担当させていただくことになりました。具

体的な船型開発作業は翌年1月から開始しています。

本稿では、9ヶ月を要したこの船型開発の概要を紹介します。

2. 対象船型と制限条件、開発目標等

対象となる船型の主要目、制限条件等を表1に示します。

表1　母船型主要目および制限条件等

		母船型	制限条件等
船種		ケミカルタンカー	
DW	ton	16000	
L_{OA}	m	137.0	137.0
L_{pp}	m	130.0	
B	m	22.0	22.0
d (des)	m	9.0	9.0
d (sca)	m	—	9.1
MCR	kW	4,660	
	rpm	167	
Vs	kt	≧ 14.0kt at Design draft, 90%MCR,15%SM	

対象船型は前述の通り16,000DWT型のケミカルタンカーです。本船用として依頼者殿で検討した船型の主要目表、オフセットテーブル、排水量計算結果等を提供いただきました。求められる開発目標は、母船型の主要寸法を変更せず、構造喫水状態の排水量を可能な限り大きくすること、計画満載状態でVs= 14.0kt (90%MCR,15%Sea Margin) を達成することです。EEDI はPhase1達成が目標とされました。

本船の開発にあたって課題となったのは、母船型の詳細な推進性能が把握できない点です。通常は、原型となる船型の水槽試験結果と種々の性能推定ツールの出力を比較し、その差分を考慮して開発船型の性能推定を行います。しかし本件で母船型として提供された船型は、水槽試験を行っておらず、このようなプロセスが使用できません。従ってSRCの水槽試験結果の蓄積とSRCが常用する性能推定手法などから得られるノウハウにより、性能改善量を判断し、作業を進めていくこととしました。

3. 船型開発の経緯

船型開発は以下の手順で進めました。

(1) SRC Tipsによる最適船型の導出 (Tips Op)

(2) フレームラインの設計とCFD計算による性能推定

(3) その他性能改善項目の検討と合意

(4) 配置、タンク容積等のチェック

(5) 水槽試験

具体的な船型開発作業を以下で紹介します。

(1) SRC Tipsによる最適船型の導出 (Tips Op)

母船型の主要目、Cp･Cwカーブを元にSRC Tipsが提供する最適化システムOpを用いて船型改良を行いました。

ここでの船型改良はCpカーブを対象とします。排水量、l_{CB}一定の条件下で、最適化条件を変更した5ケースの最適化を行いました。これにより得られた2500船型の中から、BHP、排水量、l_{CB}、Cpカーブ形状等を検討し、本船に対し最適と考えられる1船型に絞り込み、Tips Spによる性能推定を行い、別途推定しておいた母船型と比較します。計画満載状態、Vs=14.0kt (Fn=0.20) における推進性能を母船型との比で表2左欄に示します。

表2　最適船型の性能 (Tips Sp、CFD による推定)

	Tips Opt./Org.	CFD Opt./Org.
Disp.	1.006	—
$S/Disp^{2/3}$	1.004	—
1+K	0.981	0.990
rw	0.494	1.058
EHP	0.939	1.010
η_R	1.000	0.993
1-t	1.006	1.039
$1-w_T$	1.064	1.042
η_o	1.046	0.979
BHP	0.936	0.978

排水量は母船型より約170ton増加、Vs=14.0ktにおける制動馬力BHPは6.4%減少しました。90%MCR、15%Sea Margin での到達速力は約0.3kt増加し、目標とする14.0ktをクリアしています。

この改善は主として抵抗性能の改善により得られています。推力減少率1-t、船後プロペラ効率比η_Rはほぼ母船型と同じですが、伴流率$1-w_T$が悪化しています。しかし抵抗性能の改善に起因するη_oの増加により推進効率ηはほぼ母船型と同等に戻り、EHPの改善量がそのままBHPの改善に反映された形となっています。

(2) フレームラインの設計とCFD計算による性能推定

(1) で得られた船型と母船型のフレームラインを元にCFD計算用のラフラインを作成し、推進性能を推定しました。

CFD計算は、海上技術安全研究所により開発されたNeptuneにより行っています。格子数は448,000格子、乱流モデルはSpalart-Allmarasを用いて行いました。

図1に各Fn数における波高分布を、図2に船体表面圧力を示します。それぞれ左側が母船型 (Original) 、右側が最適船型 (Optimized) を、上から順にFn=0.18,0.19,0.20,0.21,0.22を示しています。

図1の波高分布を見ると、低速では母船型と最適船型に大きな差異は見られませんが、Fnが高くなると船尾波および船首尾

図1　波高分布（Fn=0.1,0.19,0.20,0.21,0.22）

図2　船体表面圧力分布（Fn=0.1,0.19,0.20,0.21,0.22）

の肩波が最適船型の方が小さくなっているのが分かります。これを裏付けるように、Fn=0.20の船体表面圧力分布（図2中段）を見ると、St.8 1/2、水面付近の負圧部およびそれに続く正圧部の絶対値が小さくなり、船側波形がスムーズになっているのが分かります。また船尾肩前方の正圧部およびそれに続く負圧部でも同様のことが言えます。

表2右欄にはCFD計算による性能推定の結果も併せて示しました。1+K、1-tの改善、1-w_Tの増加は量の違いこそあれTipsと同様の傾向ですが、rwが増加し結果としてEHPが増加する点が異なります。CFD計算により求めたBHPは母船型より2.2%減少し、Tipsによる推定改善量より厳しめの値が出たことになります。rw増加という結果と船体表面圧力分布、波高分布に見られる改善の傾向は矛盾しており、この点については今後注意深く取り扱う必要があります。

（3）その他性能改善項目の検討と合意

Tipsによる推定、CFDによる推定、双方で改善が得られました。しかしCFDによる改善量はそれを有意とみるには心許ない結果であり、r_w増加という問題も抱えています。反面、CFDで得られた波高分布や船体表面圧力分布などの検討からは改善が期待できる結果も得られています。

以上より（2）で得られた船型を基本として検討を進め、併せて更なる改善が期待できる以下の項目の検討を行うこととしました。

①舵形状および配置
②プロペラ配置および船尾プロファイル
③主機回転数とプロペラ直径

まず①では、必要十分な操縦性能を確保したうえで推進性能の改善を行うため、舵面積および舵の縦横比をチェックしています。この結果、舵面積はやや小さく、母船型より細長い形状としました。舵が小さく細長くなったことにより船尾端と舵の間に余裕が生じます。これを利用し舵軸を後ろに下げ、L_{OA}は変えずにLppを長くすることを考えます。試みにLppを0.7m増加させた場合をTips Spによりシミュレートすると、排水量一定の場合C_Bは0.5%低下、肥大度を表すL/B（1-C_B）は2.3%増加（痩せる方向）し、BHPは1.9%減少する結果となりました。

②では舵-プロペラ-船体間のクリアランスをチェックし、プロペラ起振力、推進性能の面からプロペラ位置を見直しました。①および②の作業を併せると、船尾形状設計の自由度が増し、推進性能の改善がより容易に行えるようになります。

最後に③の検討のため、Tips Spでプロペラ回転数、所要馬力、最適プロペラ直径の関係を計算しました。結果を表3に示します。すべて母船型の値を1.0とした比で表示しています。プロペラ回転数を下げることにより所要馬力は減少し、最適プロペラ直径が大きくなることが分かります。プロペラ回転数を7.2%下げると所要馬力は1.7%減少します。この時最適プロペラの直径は母船型より5.5%大きくなります。

表３　主機回転数と所要馬力および最適直径

	母船型	Case1	Case2	Case3
主機回転数	1.000	0.970	0.961	0.928
所要馬力（Vs=14.0kt）	1.000	0.993	0.991	0.983
最適直径	1.000	1.023	1.032	1.055

以上の検討より依頼者殿と打合せた結果、①、②を採用し、本船の垂線間長をLpp=130.6mとすることとしました。

（4）配置、タンク容積等の検討

（2）で作成したラフラインに（3）の検討を合わせ作成した船型について、福岡造船殿で、配置、タンク容積、等の検討が行われました。その結果、機関室、Cargo Tank等の配置には問題がないこと、No.2 Cargo Tankの容積が不足すること、船尾フレームラインの幅が狭く工作上の問題があることなどが分かりました。

これらの点を改良するため、フレームラインの変更と福岡造船殿におけるチェックを数回繰り返し、最終船型を作成しています。幸い以上の問題によるフレームラインの変更量自体それほど大きなものではなく、最終船型をそのまま水槽試験の供試船型としています。

4. 水槽試験と実船試運転

水槽試験は2018年の9月に海上技術安全研究所の中水槽で行いました。試験項目と載荷状態等を表4に示します。M.S.No.5344AはSRCが船型設計を行った省エネ付加物無しの状態、M.S.No.5344Bは依頼者殿の要望により省エネ付加物（サーフバルブ）を装備した状態です。

水槽試験により得られた抵抗係数、自航要素、依頼者殿指定の実船解析条件（粗度修正係数、伴流係数の尺度影響修正係数、MAUプロペラ、伝達効率等）を使用して速力-馬力カーブを計算しました。常用出力、15%Sea Marginでの速力は、表5に示すとおり目標とする14.0ktをクリアすることができました。また後日入手した実船採用プロペラのプロペラ特性を使用した解析では更なる速力向上が実現しています。

水槽試験が終了してから約1年半後の2020年4月、本船の試運転が周防灘にて行われました。当初は試運転に乗船させていただけるようお願いしご了解もいただいていたのですが、年初来の新型コロナ禍の中で、出張も思うようにならず残念ながら乗船は見送らせていただきました。しかし、後日お送りいただいた計画満載状態での試運転解析の結果により、計画満載状態で14.3ktの速力が得られていることが確認されました。本船はサーフバルブを装備したM.S.No.5344Bに対応した船型であり、水槽試験での推定とほぼ同等の試運転結果が確認され、水槽試験精度に自信を持つことができました。併せて行われた操縦性能試験においてもIMO基準を満たす十分な操縦性能があることも確認されました。

表４　水槽試験項目と載荷状態

	M.S.No.	5344A	5344B
抵抗試験	計画満載状態	○	
	EEDI 状態	○	
	バラスト状態	○	
自航試験	計画満載状態	○	○
	EEDI 状態	○	○
	バラスト状態	○	○
伴流計測	計画満載状態	○	

表５　到達速力

M.S.No.	5344A	5344B	
	MAU	MAU	実船採用プロペラ
計画満載状態	14.10	14.14	14.29
EEDI 状態	13.99	14.05	14.20

5. おわりに

足かけ9ヶ月にわたる船型開発が終わり、水槽試験で所期の性能が確認されてから1年半。試運転結果のご報告をいただいた時にはすでに別の船型の開発に携わっており、本船の開発経緯も記憶から遠のいていました。そのような状態であったため、果たして試運転で依頼者殿の期待に沿った成果が出ているかどうか、お送りいただいたファイル開くときに緊張したことを覚えています。ファイルには、“結果は良好”とのコメントが添えられており、緊張から解放されました。

福岡造船殿では、今後本船のデザインに汎用性を持たせ、幅広い船主に展開していく計画とのことです。

最後になりますが、福岡造船殿で本件をご担当いただいた山本副部長、平田課長、曾根田課長代理に感謝いたします。特に本件の作業中はCADデータの交換等で問題が発生し、多くの時間が割かれてしまいました。船型開発の本質ではない作業にもかかわらず真摯に対応いただいた曾根田課長代理には御礼申し上げます。

SRC試験センターでは本業である水槽試験に加え、水槽試験で蓄積したノウハウをいかした、本件のような船型開発にも注力しています。また総合コンサルティング事業室を中心に技術開発室、海洋技術部とも協力しながら、船舶に関わる総合的なコンサルタントを目指し活動しています。本件のような船型の問題に限らず、船舶に関わる技術的な課題がありましたら、以下のメールアドレスよりSRCにご相談いただければ幸いです。

SRC総合コンサルティング事業室　福島寛司
h_fukushima@srcj.or.jp

（試験センター　金井　健）