ニュー・ベクトイン・システム

鍋 島 健治郎** 山 本 博 敬***

New VecTwin System

By Kenjiro Nabeshima, Hirotaka Yamamoto

New vecTwin System was newly developed with improvements based on customer's opinion since previous VecTwin system was introduced once on Journal of The MESJ Vol.29, No.9 in 1994.

In this paper, the outline of New VecTwin system is explained and the improvements from the old one and their effects are explained too.

It can give more easy and simple maneuvering and higher safety of vessels due to establishing of the improved system including Joystick control which is indispensable device for the VecTwin System.

And the experience, Opinions and wishes from many captains are reported for this new system and the study items in future are also mentioned at last.

As the conclusion, it can be said that this New VecTwin is not so much rudder control system as the total system combined propulsion and maneuvering.

And it is expected to contribute shipping society with more safety and economical operation of vessels and also the reduction of the stress of ship's crews due to the tight work.

1. システムコンセプト

1.1 シリング舵とベクトインシステム

かつては、舵といえば流線形舵と決まっていたが最近シリング舵が急速に台頭し、最近10年間で約1,600隻の船に採用され、今はむしろこの舵が主流になった感がある。シリング舵というのは図-1に示すように、舵の水平断面を魚型とし、上下に端板を設け、舵角を $\pm 70^\circ$ まで取ることにしたものである。(十は右舵角を、一は左舵角を意味する、回頭角についても同様な符号とする。)

この舵により船の操船における自由度が増し、特に離着岸が容易になったと評価を受けている。

ベクトインはこのシリング舵を左右対称に切断

図-1 シリング舵とその転舵範囲

* 原稿受付 平成11年3月17日

** 正会員 ジャパンハムワージ株式会社 (大阪市城東区鴨野西1-15-1)

*** ジャパンハムワージ株式会社 (大阪市城東区鴨野西1-15-1)

図-2 ベクツイン舵の配置例

したような形状の2枚の舵を図-2に示すように1軸船のプロペラ後方に横に並べ、舵角の組合せを工夫して前進回転中のプロペラ後流を前後左右あらゆる方向に噴出できるようにしたもので、船の操縦運動すべてをプロペラ前進回転のまま行うものである。

ベクツインの舵角の組み合わせは多岐・多様であるので、ジョイスティックを導入しジョイスティックを倒した方向へ船が誘導されるように制御システムを構成して操船操作を容易にし、さらに緊急停止装置を加え、新しい「ベクツインシステム」が確立された。

これにより、主機関逆転という煩わしい装置も、複雑な可変ピッチプロペラも、装備するのも維持するのも大変だったスターンスラストもすべて不要となり、あたかも自動車を運転するような感覚で操船できるようになった。

この新しい操船システムは、操船性能を向上させ、タグボートの支援なしに出入港並びに離着機を行い、経済性並びに安全性を高め、しかも乗組員の労力や肉体的並びに精神的疲労の軽減に寄与する。

1.2 基本的な舵角の組合せとその呼称

ベクツインの基本的な舵角の組合せとその呼称を図-3に示す。

両舵の舵角の組合せは無数にあるが、それらを個々に制御するのは不可能なので、ジョイスティックを利用し、その操作位置により、所定舵角の組合せが容易に行えるようにしている。

図-3では、ジョイスティックレバーの動き、両舵角、プロペラ後流の方向、船の動きを平面的に示している。ここに示した舵角の値は一応の標準であって、ジョイスティックレバーはその可動範

図-3 ベクツインの代表的な舵の組合せと呼称

囲内では連続的に動かせるので、船の運動の微調整が可能である。

図-3の中央はホバリング位置で、標準舵角±75°でプロペラは前進定回転をしていても船はほとんど動かない。

操作の始動はこの状態から始めるのがよい。

この状態からレバーを前に倒していけば、舵角が徐々に減り、微速前進から次第に速度が上がり、前進一杯に倒せば、両舵角は0°となり、その時のプロペラ回転数に相当する船速になる。

レバーを手前一杯に引くと舵角は±105°となり、舵を開いた抵抗とプロペラ後流が前方に転流することにより、急速に減速し船体停止から後進に移る。

この間で、ジョイスティックレバーを右に倒せば船体は右へ、左へ倒せば船体は左へ進むが、操

船者は舵角を気にすることなく船の動きをみながらレバー操作をすればよい。

ところで、新しいベクツインシステムでは航海中の安全性をより高めるために、ブリッジ中央のジョイスティックパネルに図-4に示すような緊急

停止ボタンを設けている。

船橋操縦モードが自動操舵あるいは手動舵輪操舵いずれの状態でも、この緊急停止ボタンを押さえれば、舵角は自動的に105°となり船は緊急停止し後進に移る。この間従来のように主機関停止、逆転という操作は不要で、機関部員の労力や精神的疲労が軽減される上に、機関にも無理がからない。

また、緊急停止ボタンを押した状態でジョイスティックレバーを操作すれば、操舵権は自動的にジョイスティックに移り、自由に操船出来る。この装置は、衝突、接触などの事故防止上、画期的な機能であると評価を受けている。

以上のように、新しいベクツインシステムでは、主機前進定回転のままジョイスティックの操作のみで、安全に、経済的に、しかも乗組員の疲労を軽減し、入出港、離着棧を簡単、迅速に行うことが出来る。

この便利な機能を一層使い勝手よくするため、ジョイスティックと舵角指示器、各種スイッチ等を組み込んだジョイスティックパネルを図-5のようにブリッジ中央と左右舷のウイングの3ヵ所に設け、コールアップボタンによる切り替えで希望する位置から操船できるように構成している。

また、図-4に示したブリッジ中央のジョイスティック

図-4 ジョイスティックパネルと緊急停止ボタン

図-5ベクツインシステムの一般的配置

ィックには「推力ベクトル表示」が付加されている。これは、ベクトイン特有の舵角とその組み合わせによって得られる合成の推力ベクトルがジョイスティックの指示と舵の動きの両方で表示されるもので、操船する上で大層役立っている。

2. ベクトインシステムの構成とその特徴

2.1 ベクトインシステムの構成

図-6にベクトインシステムの構成を示す。

舵は図-2に見るように船の内側25°、外側105°計130°の広い範囲にわたって動くので、操舵機にはロータリーベーン方式のものを採用している。これに付属する油圧ポンプ、舵角発信器、フィードバックユニット等は操舵機室内にまとめて設置

している。

これらの機器とジョイスティックパネルとの間に制御機構が組み込んである。従って通常の航海中は普通の舵の場合と同様、舵輪またはオートパイロットによって操船でき、出入港や離着桟時あるいは必要な場合にはいつでもジョイスティックに切り替えられる。この切替えは、操舵スタンドに設けた切替スイッチにより行われる。

2.2 システムの特徴

(1) ジョイスティックですべての操船が可能

本システムでは1本のジョイスティックレバーを操作するだけで、前後進の速度調整、旋回等すべての操船が可能である。さらにプロペラ回転中でも、舵角±75°の「ホバリング」にすれば船をその場に保持することが出来るという今までの船に見られなかった優れた特性を備えている。

そしてジョイスティックレバーをこの位置から、前後左右どちらかに倒すと今までの船では実現できなかった微速での前後進や回頭運動等が行え、しかもプロペラ後流が常に舵へ流入しているの、船速が零でも舵力が発生し、時間遅れがほとんどなく自由に操船できる。但し、大幅な前進速力の変更は従来と同様に主機関出力を調整して行われる。

(2) スターンスラスタが不要

ベクトインは、1軸1舵のシリング舵の場合と同様に、プロペラ推力を利用し、大きい横推力を得ることが出来るので、スターンスラスタを設ける必要がなく、建造費が安くなり、スターンスラスタにかかっていたメンテナンス費用は不要となる。

バウスラスタと併用すれば、真横移動、斜め移動も出来、離着桟を能率よく行うことが出来る。

バウスラスタとベクトインを併用する操船制御方式には、①個別制御方式、②真横移動等における自動制御方式、③自動船位保持装置があるが、いずれの方式も採用することができる。

気象庁のベクトイン搭載気象観測船にはすでに自動船位保持装置が採用されている。

(3) 緊急停止性能

ベクトインシステムでは緊急停止をする場合、主機関を逆転する必要はなく、単に舵を±105°に取ればよいことはすでに述べた通りであり、この特殊な操舵は蛤が殻を開いた状態に似ているので「クラムシェル、Clamshell」とも呼ばれている。

図-6 ベクトインシステムの構成

る。

従来の舵を備えた船ではプロペラを逆転すると針路不安定になって、初期条件次第では左右のどちらかへ大きく回頭してしまう。

ところがベクツインではクラムシェルにしても、針路不安定になることはなくほぼ直進するし、積極的に操舵し、左右どちらか希望する方へも自由に回頭できる。

(4) 主機関の逆転装置の省略

クラムシェルによる船体停止性能の優位性が日本海事協会にも認められ、ベクツインを装備した船には主機関の逆転装置を省略してよいとの承認を得ている。

(5) 後進時にも操縦可能

一部の小型舟艇を除き不可能であった後進時の操縦が可能になったので、離着桟時や危険回避に有効であり、極めて安全性の高い船であるといえる。

3. 実 績

ベクツイン船は平成4年に第一船である自動車専用船の就航から現在まで34隻が就航し活躍している。

これらの船のうち、例として2～3船を選び海上試験運転における試験結果及び操船の様子を示す。

3.1 35°定常旋回試験結果

図-7に、最近ベクツイン舵に改装された石灰石運搬船(Lp = 150m, GT = 15,620t, DWT = 23,932t, 主機関出力 = 8,000PS)のバラスト状態における35°旋回試験結果の比較を示す。図中の点線がも

図-7 石灰石運搬船のバラスト状態での35°旋回比較

-----	タンカー	普通舵	舵角 ±35°
————	タンカー	ベクツイン	舵角 outboard±35° (inboard±25°)
————	タンカー	ベクツイン	舵角 outboard±70° (inboard±25°)

図-8 小型タンカーにおけるベクツイン大角旋回の優位性

との普通舵付であり、実線がベクツインの場合である。左右旋回ともベクツインにすると、アドバンスは0.4～0.5L、70m位小さくなるという結果が得られた。

図-8は長さ60mおよび64mの小型タンカーの満載状態における旋回試験結果を比較したものである。点線は普通舵の、実線はベクツインの35°と70°の旋回である。

ベクツインの優位性がアドバンスやタクティカルダイアにも定常旋回半径にもはっきり現れている。

今までの衝突事故においては、今少し舵効きがよければ損害は軽微だったのと思われる例が多い。その点、本例のようにベクツインを装備すると衝突回避能力に優れた船になる。

さらに、長さLの船が旋回半径Rで旋回中の速力Vtは無次元の旋回角速度、L/Rに逆比例して小さくなるから、Rが小さいほど小さくなる。従って、誤って衝突した場合でも衝撃力が小さく、より安全な船だといえる。

3.2 10°Z試験結果

図-9は前出改装船のベクツイン舵付のZ試験結果である。改装前の普通舵ではZ試験を行っていないので比較できず残念であるが、アフトリムの大きいバラスト状態ということもあってオーバーシュートアングルは5°前後であり非常に小さく、転舵に対する応答も速いので操船しやすいことがわかる。

なお、ベクツイン船はプロペラ後流が2枚の舵で保護されているので、荒天時、特に追波の時に

図-9 石灰石運搬船のパラスト状態における10°Z試験

保針性に優れ、船速低下が小さいと言われ、荒天航路に配船されることが多い。

3.3 緊急停止試験結果

5,000kLタンカーの例を図-10に示す。

クラムシェル時は停止距離で約40%，停止時間で約60%と大幅な改善となり、偏針量も非常に小さい。

停止距離 (主機逆転)		100(%)
バラ ス ト	セメント船	34
	コンテナ船	59
	L P G	53
	P C C	48
満 載	タンカー	86
	タンカー	56
	タンカー	54
	タンカー	42

図-11 ベクツインと主機逆転との
船体停止距比較

図-11は、ベクツインを装備した数隻の船でクラムシェル、主機逆転両方法による船体停止距離を比較したもので、主機逆転時を100%としている。これらの結果によるといづれの船でもクラムシェルによる停止性能の方が格段に優れており主機関逆転による停止距離のおよそ60%で停止すると見てよい。さらにクラムシェルで主機関を逆転するというような過酷な負荷の変動はなく、従って高い騒音や大きい振動は生じないので、この面でも無理がなく主機関に優しく優れたシステムといえる。

3.4 ホバリングと離着栈の実例

3.4.1 ホバリング

我が国最初のベクツインを備えた長さ100mの自動車専用船における例を図12に示す。プロペラは110回転であるが、船はほとんど静止し発令から140秒経っても船はわずか30m程度移動しただけで

図-10 緊急停止試験の比較

図-12 自動車専用船におけるホバリング

方位角も殆ど変化していない。

また、この状態でプロペラが回転しているため、潮流や風などの外乱があってもわずかな舵角調整で舵力が発生するので、船の位置保持が簡単に出来、少し転舵すれば船は直ちに応答する。

これは今までの船では考えられなかった特性で操船者の方から大変喜ばれている。

3.4.2 離着棧例

図-13に同上船の離着棧例を示す。

同図(A)(B)は同じ棧橋とともに陸側から10m/sの風が吹いている状態であり、この船のように上部構造が大きいと操船が難しいといわれるが簡単に着棧し離棧している。また(C)ではバウスラストを

図-13 自動車専用船の離着棧

うまく使って斜め着棧している。

ベクツインではこのように今までの船では想像も出来なかった、まさに夢のような操船が可能となった。なお、バウスラストのない場合でもアンカーを上手に使い、うまく離着棧をされている。

3.4.3 簡単になった出入港や離着棧

従来のタグボートの支援を仰ぐ場合と比較しベクツイン船では、タグボートにあらかじめ連絡する必要もなく、これを待つこともない。さらにまた、周囲の状況を判断しつつ、タグボートへの指令、しかも自船の主機関出力変更の指示や操船手への舵角の指示など一切の煩わしさがなくなり、操船者の思うままに操船出来るから、今まで難しかった離着棧が非常に簡単にでき、入港から着棧あるいは離棧から出港までの所要時間は操船に少し慣れれば半減するといわれている。

このベクツインシステムによる新しい操船方法は単に人員削減や時間短縮・タグフリー等による経済性のみでなく、乗組員の精神的・肉体的疲労を軽減するところが大きいのであり、入港や離着棧に一大変革をもたらしている。

3.5 ベクツイン船での聞き取り調査の結果

ベクツイン船が就航した後、当社から訪船し実際の操船状況を見たり、感想、改良すべき点あるいは希望等を聴取している。表-1には、前節までに述べたベクツイン船の操船特性のように、はっきり分かっている点は省き、実船でないと理解出来ないような点、特別な感想や改良すべき点、さらには操船者からみた希望等を代表的な数隻についてまとめて示した。

表中のJ船は日本から中国の上海へ行き、ここからさらに長江を1,125kmも遡って武漢に至るもので、水流の速いところ、特に複雑な流れに乗って下る場合にこのベクツインが威力を発揮するとされている。

4. 問題点と今後の見通し

4.1 ベクツイン船の抵抗、推進性能について

ベクツインは舵が2枚あるからその分だけ抵抗が大きく、またプロペラによる推進中には自航要素、とりわけ推力減少係数に大きく影響し、1枚舵に比べれば推進性能が幾らか悪くなると考えられ、水槽試験でもその傾向がでている。しかし実船の

表-1 ベクツイン船における聞き取りの要点

船名 船種 Lpp(m)	訪船時の聞き取りの要点 操船要領・感想・希望・その他
A 船 セメント運搬船 150.0	改造工事の試運転終了時に初めてベクツインのジョイスティックとパウスラスタにて岸壁に着機したがスムーズに行えた。風速20mの強風でタグボートが出航できないような状態でも自船で着機を行った。今まででは考えられないことである。
B 船 PCC 99.9	上部構造の大きい船は船首尾で作動中のタグボートが見にくいので困るが、本船はベクツインの横推力が大きく、自船で離着機出来る。主機関の逆転はしない。前後進速度の微調整が簡単である。
C 船 コンテナ船 85.0	離着機時のエンジンの正逆転がなくクラッチが過酷な条件にならない。離着機はハーフで行い楽になった。オートパイロット時の舵角は5°以内、操舵頻度も低い。タグボートは使用しない。錨は殆ど使用しない。
D 船 LPGタンカー 64.0	後進速度は2.9kt。停止距離と時間が短く、危険回避時の信頼感、安心感がある。後進時に船の舵効きがよく自在に操縦できるし勿論直進もOK。錨を使用すれば離着機も非常に簡単に行える。
E 船 クルーズ客船 95.0	離着機にタグボートの必要がなく、しかも非常に早く行えるので我々操船者にとって理想的とも言えるシステムである。欲を言えばもう少し後進力があれば一層よからう。台風避難時、待機に最適である。
F 船 セメント運搬船 108.0	主機関を逆転する必要がないので機関部員は気を使うことが減った。後進中の船体振動が非常に小さく静かでありしかも急速に速度が落ち、停止距離も驚くほど短い。強風中の後進には主機関の逆転も必要ではない。
G 船 気象観測船 75.0	本船は深海探査のため、数千メートルの海底までワイヤーを繰り出し、その先に探査装置があり、ワイヤーを常に垂直に保つよう船の位置を制御する。この制御がジョイスティックだと非常に簡単で大助かりである。
H 船 タンカー 98.0	小さいアドバンスと緊急停止ボタンは衝突回避に威力を発揮するだろう。悪天候による欠航率が低い。ジョイスティックと船の動きが同じで操船感覚にミスがない。追波中でのヨーイングが小さく馬力損失小。
I 船 タンカー 86.0	全部の船をベクツインにしてももらいたい。着機寸前には主機関出力をデッドスローにする。推力ベクトル表示は大層便利。これに船速、主機回転数、機橋までの距離等の情報を加えれば、略完壁な離着機装置となる。
J 船 (国籍パナマ) 貨物船 86.0	小回りが効き真横移動も自由自在に出来るなど操縦性に優れている。また2分で緊急停止出来るなど安全性が高いので、多数の小船が行き交う長江の航行にもベクツインのおかげで不安を感じることが無い。

試運転結果では両者の差は当初想像していたより小さく、予想以上によく走ったという場合が殆どである。

その原因はベクツインのような特殊な舵付きの

場合にも従来の水槽試験での測定方法と解析手法並びに実船の馬力推定手法をそのまま踏襲しているところに起因していると思う。

すなわち、従来の船とベクツインの違いは舵であるが、現在の手法だと舵の表面積を主船体に算入したまま、フォームファクターを求め、剰余抵抗や造波抵抗係数を算出し、自航試験時の摩擦抵抗修正を行っている。

しかし、1軸1舵の場合ならともかく、ベクツインでは舵の抵抗は主船体とは別に考慮する方が実際に近いと考えられる。したがって模型船の舵抵抗は実船に比べ比較的大きいから、抵抗試験でフォームファクターや剰余抵抗係数等を求める場合には特別の考慮を要する。さらに自航試験での摩擦抵抗修正も舵抵抗が割合大きいのを加えなくてはならない。この結果従来の抵抗、自航試験法から実船の性能を推定するより有利な結果が得られるのではないかと期待される。今までの実例で水槽試験による予測より優れた推進性能が得られた原因はその辺にあるのではないかと考えられる。

ところで、ベクツインでは、プロペラ後方に舵がないので、ハブボルテックスがそのまま損失となる。その対策としては例としてプロペラ・ボス・キャップ・フィンPBCFを設けることにより、損失回収にかなりの効果があつた。

5. ま と め

5.1 簡素な推進系

- (1) プロペラは常に正転のままで、すべての操船が可能であり、一切の逆転機構(可変ピッチプロペラを含む)が不要となって簡素化される。
- (2) 従って、主機関を逆転また正転と無理な操船を繰り返す必要がないことから、機関の保全のためにも好適である。
- (3) 主機関の停止、逆転、引き続いて正転と言った過酷な労働から機関員を解放できる。

5.2 優れた操船性

- (1) ジョイスティックを操作するだけで、プロペラ正転一定のまま、推力の方向を360°にわたり任意に変えることができ、又推力の大きさを自由に制御する事が出来る。
- (2) 船速ゼロ付近においても操船が可能である。たとえば、「ホバリング」状態でわずかに舵角をず

らすことにより極微速での船首方位、船位置の制御も容易に行える。

(3) ジョイスティックはブリッジと両ウイングにもあるので、操船者自身が自船の動きや周囲の状況を見ながら自由にしかも的確な操船が実現できる。

(4) 出入港から離着桟までタグボートの支援を仰ぐ必要がない。バウスラストを併用すればより一層自由で、短時間の離着桟が可能となり、非常に経済的である。

5.3 高い船体停止能力

(1) 緊急事態においては主機関を正転のまま、舵をクラムシェルにすれば直ちに制動がかかり、急停止するから安全である。そのときの停止距離はプロペラ逆転の約1/2程度である。大舵角旋回におけるアドバンスが小さいことも、避航に有利である。

(2) クラムシェル後進中においても自由に操船出来、しかも逆転した場合のように主機関に無理がかからないので振動や騒音も少ない。

(3) 緊急停止ボタンは、単にそのボタンを押すだけで、現時点の操舵モードが自動操舵または手動操舵の状態にあっても、直ちにクラムシェルとなり、素早く船体が停止しする。また、その時そのままジョイスティックを操作すれば、ジョイスティック操船が可能になり、任意の方向への変針が可能となり危険回避に効果的である。

5.4 優れた保針性—荒天時でも高い操船能力

(1) 保針性が優れており、無駄舵を取らずに直進できる。

(2) プロペラ後流を挟むように2枚の舵が配置されており、また舵に端板を設けているので対動揺効果に優れ、荒天時においても操船が可能である。

5.5 メンテナンス

ベクツイン舵装備船は、2枚の高揚力舵と固定ピッチプロペラで構成出来ることから、海中に可動部分がなく、メンテナンスはほとんど不要となる。

5.6 推進性能

ベクツイン船の推進性能は従来の水槽試験法によって推定したものより良い。推進損失に影響の大きい自航要素については、ベクツイン舵に最適な船型を案出することによって改善できると期待される。またPBCFは性能改善に有効である。

質 疑 応 答

質問者：九州大学 中武一明

〔質問〕

舵はプロペラレースの中に入っているのでしょうか。舵の抵抗は、プロペラレースの左右位置によってかなり変化します。このへんを改良されたら、推進性能を向上できるかもしれません。

〔回答〕

舵の位置は約0.65^Rです。

これは、舵の標準寸法と、プロペラ後流を逆噴射させるために決ってきます。

ただPBC下を装備し、プロペラハブボルテックス損失を回収すれば、ほぼ1枚蛇と同程度の効率を得ております。

蛇抵抗減少につとめておりますので、今後とも適切なアドバイスをお願いします。

質問者：日立造船株式会社 佐伯敏朗

〔質問〕

バウスラストを併用したときのジョイスティックシステムは、ベクツイン舵とバウスラスト連動となっているか または、個別制御か？

〔回答〕

現在は連動せず、個別制御が殆どです。

これは、追従性が速いのと、操船者の意思と、船の動きがよく一致し、違和感がないとの卑組員の意見によったものです。

但し、連動の必要な場合には、技術開発も完了しているので、実施可能であります。