船の加減速運動に関する実験的研究

(第 2 報：プロペラ順転中の操縦性能)

正員 仲 渡 道 夫* 正員 小 瀬 邦 治*
正員 佐 伯 敏 朗*

Experimental study on Accelerating and Decelerating Ship Motions
(2nd Report) —on Manoeuvrability—

by Michio Nakato, *Member* Kuniji Kose, *Member*
Toshiro Saeki, *Member*

Summary

In the previous report, the longitudinal forces acting on a ship under accelerating or decelerating motion were treated and an estimating method of the transient motion was proposed from a practical point of view.

In this report, the lateral forces acting on a ship in the transient motion, and accordingly manoeuvrability are investigated.

The model ship tested is a Series 60 parent type ($L/B=7.0$, $C_B=0.7$) and experiments were carried out in a towing tank using a PMM.

As a propeller working effects on a hull and on a rudder are different from each other, it is reasonable to divide the lateral force of a ship into two parts, the rudder force including rudder induced force on a hull and the remainder.

Propeller working effects are unexpectedly strong on a hull and can be represented by a simple function of the apparent advance ratio J_s , as seen in Fig. 6.

The damping force acting on a rudder, in its dimensionless form, is proportional to the parameter $k = \sqrt{1 + \kappa \frac{8}{\pi} \cdot \frac{K_T}{J_s^2}}$, while the turning force is proportional to k^2 .

As a consequence, both longitudinal and lateral hydrodynamic forces on a ship are possible to be represented using J_s .

Hence, course stability of a ship and rudder effectiveness depend strongly on J_s in the transient motion.

The results are also confirmed by the free running tests of the model.

1 緒 言

筆者らは第一報¹⁾で、直進中の加速、減速の性能について報告した。この中では船に作用する縦方向の力を主に検討し、自航要素などが船速とプロペラ回転数を組合せて得られる、みかけの前進率 ($J_s = V_s/nD$) によってうまく整理できることを示した。加速、減速中の縦方向の力は、このみかけの前進率によって決まる準定常的な流体と主船体の付加質量力の和である。また、プロペラ逆転中に生じる左右非対称な流場とそれに起因する旋回力の例を紹介したが、これについては山崎²⁾、藤野³⁾らがその後詳細な調査を行なっている。

本稿では、プロペラ順転の範囲で加速、減速している船の操縦性について述べる。前進加速度は船に働く横方向の力に影響しないと仮定し、船速とプロペラ回転数を種々に組合せた状態で拘束操縦性試験を行ない、得られた流体力を船体と舵に分けて記述することを試みる。この結果から、横方向の力も J_s で整理しうる可能性、および J_s による操縦性の変化などについて検討する。最後に、拘束操縦性試験でえられた諸結果を、自航操縦性試験で確認する。

2 加速、減速中の操縦性に関する拘束試験

2.1 供試船型

本研究の供試船はよく知られている Series 60 船型

* 広島大学工学部

Table 1 Principal particulars of the model

Hull		Rudder	
L	(m)	4.000	λ
B	(m)	0.571	2.17
d	(m)	0.229	AR/Ld
∇	(m ³)	0.366	1/66.7
		Propeller	
Cb		0.700	D
LCB	0.5%Fore		(m)
kzz	0.25L		0.160
		P.R.	1.100
		E.A.R.	0.500
		Z	4

で、その要目を Table 1 に示す。この船型は操縦性研究に多くの実績をもっており、このような基礎研究に適している。また、プロペラ直径が比較的大きく、スラストの安定した計測が容易であることもこの船型を選んだ理由の一つである。

2.2 実施した拘束試験の概要

試験は広島大学船型試験水槽で Planar Motion Mechanism (大振幅 PMM) を用いて実施した。しかし、加速、減速中の操縦性試験とはいえ、実際に船速を変えながら Yawing や Swaying をさせたわけではない。一般の PMM は船速を変えるようには作られていないし、これが可能であったとしても、その解析はむずかしいと実際のでない。

さて、緒言で述べたように、加速、減速中の船に働く縦方向の流体力は準定常的に取り扱う。もし、横方向の力も前後方向の加速度の影響を受けないのであれば、同様に準定常的に取り扱って便利である。ところで、一般に用いられている運動方程式では、横方向の力に対する前後方向の加速度の影響は考えていない。したがって、この仮定はきわめて常識的なものであり、この研究は、横方向の流体力は準定常的な形の拘束試験でえられるとして進める。

そこで、加速、減速中の操縦性を調べるためには船速とプロペラ回転数を種々に組合せた状態で普通の拘束試験を行なえばよいことになる。この際、みかけの前進率 J_s に着目する。船速とプロペラ回転数が異なっている場合でも、 J_s が一致していると流れの相似がほぼ保たれるために、船速を用いて無次元化した流体力は J_s によって一つに定まることが期待される。そこで、本研究ではフルード数が 0.2, 0.15 の 2 つの船速について順転の範囲でプロペラ回転数を組合わせて試験することにし、両船速で一部 J_s を重複させた。 $J_s=0.904$ がこの供試験船の自航点である。

こうして選んだそれぞれの試験状態に対して、直進中の舵角試験、斜航試験、Pure yawing, Pure swaying そして一定の斜航角を保った Yawing 試験など通常の PMM 試験を行なった。この他、船体のみ、舵つき船体、プロペラつき船体といった試験状態も適宜加えている。

試験中、模型船の Heaving, Pitching, Rolling は自由とし、船全体にかかる力とモーメント、 X, Y, N の他、スラストおよび舵に働く力 F_N, F_T を計測した。また、計測は JTTC 第二部会のなかに設けられた操縦運動の数学モデル検討グループ (MMG)^{4)~7)} の推奨に従って、 ∇ を原点としており、モーメントの計測も ∇ まわりとしている。

3 加速、減速中の船に働く流体力

3.1 流体力の記述モデルと試験の解析手順

加速、減速中には船速とプロペラ回転数の組合わせが大幅に変化するが、船のそれぞれの部分で影響の受け方が異なることに着目する。主船体に働く横方向の力は主に船速に依存するであろうし、舵はプロペラ後流の影響下にある。そこで、船全体に働く力から舵の寄与による力を分離して考える。

MMG は舵力分離型の流体力の記述モデルを提案しているが、これは設計面で舵面積の決定を容易にする目的で主に考えられたものである。しかしながら、この形のモデルは本研究にとっても有用である。

MMG モデルは、横方向の力 Y と、 ∇ まわりのモーメント N を次式で表現している。

$$\begin{aligned}
 Y' &= Y \left/ \frac{1}{2} \rho L^3 V_s^3 \right. = Y'_{HP\dot{v}} \dot{v}' + Y'_{HP\dot{r}} \dot{r}' \\
 &\quad + Y'_{HPv} v' + (Y'_{HPr} + X'_{\dot{u}} u') r' \\
 &\quad + \int_{-1/2}^{1/2} (v' + x' r') |v' + x' r'| (c_0 + c_1 x' + c_2 x'^2) dx' \\
 &\quad - (1 + a_H) F'_N \cos \delta \\
 N' &= N \left/ \frac{1}{2} \rho L^3 V_s^3 \right. = N'_{HP\dot{v}} \dot{v}' + N'_{HP\dot{r}} \dot{r}' \\
 &\quad + N'_{HPv} v' + N'_{HPr} r' \\
 &\quad + \int_{-1/2}^{1/2} (v' + x' r') |v' + x' r'| x' (c_0 + c_1 x' + c_2 x'^2) dx' \\
 &\quad - (x'_R + a_H x'_H) F'_N \cos \delta
 \end{aligned}$$

この式のうち、最後の項が舵の寄与を表わし、その他の項は船全体に働く力からこの舵の寄与分を差し引いた力を示す。最初の 4 項がいわゆる線型項で、第 5 項目が非線型流体力を Cross-flow-drag の形で表わしたものである。ここでは操縦運動は微小であるとして議論をすすめ、非線型流体力の記述については別の機会に検討する。しかし、試験結果から線型微係数を決める際に最少限は非線型項の形を決めておく必要があり、とりあえず Cross-flow-drag の考えに従って、 r と v の 2 次式でそれを考える。

舵直圧力について、MMG モデルは舵の単独性能に舵位置における流速、流入角を組合せて記述している。この方法は物理的意味の明瞭さのために捨てにくいものではあるが、流入角と流速を定める際の複雑さは問題とい

える。PMM による操縦性試験の場合、正弦関数状の運動を与えるから、計測される流体力も時々刻々と変化する。この周期的に変動する直圧力から、舵位置における流速と流入角を定めることは容易でない。そこで、舵直圧力を運動が小さい範囲で次式で表現する。

$$-F'_N \cos \delta = Y'_{Rv} v' + Y'_{Rr} r' + Y'_{R\delta} (\delta + \delta_0)$$

ここで Y_R は舵に働く横方向の力を、添字 v, r, δ はそれらによる微係数を意味する。また、 δ_0 は舵中央で直進している際の舵に働く横方向の力を舵角に換算した形で表わしたものである。

舵に直圧力が働くとき、船体にも少なからぬ力が誘起される。鳥野はこの力を舵まわりの循環の船体に対する影響として説明している。今日までの試験例によると、この力はほぼ舵直圧力に比例するようで、MMG モデルでは舵直圧力の a_H 倍の力が x_H より x_H の位置に作用すると表現している。

以上の検討から、船に働く流体力を次式で表現する。

$$\begin{aligned} Y' &= Y'_{HP\dot{\delta}} \dot{\delta}' + Y'_{HP\dot{r}} \dot{r}' + Y'_{HPv} v' \\ &\quad + (Y'_{HPr} + X'_H \dot{u}') r' \\ &\quad + (1 + a_H) \{ Y'_{Rv} v' + Y'_{Rr} r' + Y'_{R\delta} (\delta + \delta_0) \} \\ N' &= N'_{HP\dot{\delta}} \dot{\delta}' + N'_{HP\dot{r}} \dot{r}' + N'_{HPv} v' + N'_{HPr} r' \\ &\quad + (x_R' + a_H x_H') \{ Y'_{Rv} v' + Y'_{Rr} r' + Y'_{R\delta} (\delta + \delta_0) \} \end{aligned}$$

式中、 Y_{HP}, N_{HP} は船体とプロペラによる力を意味する。

PMM 試験からこれらの諸係数を定める手順を Fig. 1 に示す。舵による横方向の力を分離し、記述するため、舵直圧力を測り、解析する点が従来の方法につけ加わっている。

3.2 舵によって生じる流体力

舵は加速、減速中のプロペラ後流の変化を直接的に受けるから、この場合の操縦性を支配する第一の要素である。この舵の機能の一つは、およそ舵角に比例した横方向の力とモーメントを与えることであり、もう一つが Yawing や Swaying に対する抗力、つまり旋回抵抗を

Fig. 1 Flow chart to identify hydrodynamic derivatives

うることである。この両機能は舵の単独性能、舵位置での流速、流入角に依存する。

舵の単独性能については多年の研究実績があり、その性能の推定はさほど困難ではない。日本で広く知られている藤井の式、あるいは吊舵などを対象にして鏡像モデルを用いた Whicker の式などの推定式を用いることができる。本研究では次の藤井の式を用いる。

$$f_a(\lambda) = \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25}$$

舵位置における流速 u_R は主船体の影響を船体伴流の形で、プロペラによる増速を運動量理論に基づく簡単な式で考慮すると次式で表現できる。

$$u_R/u = (1-w) \sqrt{1 + \kappa \frac{8}{\pi} \frac{K_T}{J^2}}$$

ただし κ は実験定数である。

MMG では、この伴流率としてプロペラ位置での値 $(1-w_p)$ を採用していたが、その後、芳村⁸⁾、井上⁹⁾らは舵位置における値 $(1-w_R)$ を用いるべきことを示した。本研究ではプロペラおよび舵位置の流速を次式で考える。

$$u_p/u = (1-w_p)$$

$$u_R/u = \varepsilon \sqrt{1 + \kappa \frac{8}{\pi} \frac{K_T}{J^2}}$$

ただし、 $\varepsilon = (1-w_R)/(1-w_p)$

さて、以上に述べた流速あるいは伴流率はプロペラや舵を一種の流速計として使用し、スラスト一致法、舵直圧力一致法によって求める。直進中の舵角試験を行ない、それぞれの値を求め、Fig. 2 に示す。

本船型の場合、 $1-w_p$ は J_s によってほとんど変化せずおよそ 0.68 である。プロペラを外した試験で $1-w_R$ を求めると 0.52 をうる。プロペラ付きの試験の場合、スリップが零 ($s=0$) あるいはスラストが零 ($K_T=0$) の状態で舵直圧力一致法により $1-w_R$ を求めると、それぞれ 0.59, 0.56 をうる。このように $(1-w_R)$ は定義しだいで多少その値が異なるものの、Fig. 2 にみるよ

Fig. 2 Inflow velocities at a propeller and a rudder on a straight course

Fig. 3 Inflow angles at a rudder on a straight course

うに、舵位置の流速を求めるにはその位置での伴流率を用いるべきことがわかる。

直進中、船にわずかながら横方向の力が生じる。この非対称力は舵直圧力に比例しており、プロペラ後流の非対称性起因する舵の直圧力とその船体への影響であると考えられる。Fig. 3 に直進中、舵直圧力が零となる舵角を示すが、この舵角は J_s によってほとんど直線的に変化している。

船体に対する舵の干渉を表わす a_H, x_H を求めた結果を Fig. 4 に示す。この a_H, x_H は舵角の大きさによらず、ほぼ一定値をとるが、 J_s によっては多少、値が変わるようである。舵の干渉として、操舵によるスラスト変化が考えられるが、 20° 以内の通常舵角の範囲ではこの変化は小さい。また、操舵による抵抗増加（その主力は直圧力の抵抗成分）を考慮した上で推力減少率 $(1-t)$ を求めると、舵角のいかんにかかわらずほとんど一定値である。以上の結果から、船体とプロペラに対する舵の干渉は横方向の力について a_H, x_H の形で考慮すればよいことがわかる。

旋回と横流れによって生じる舵の直圧力は、舵位置における流入角の変化として主に現われるものである。この力は舵による旋回抵抗を意味し、肥大船の操縦性を考える際に重要である。斜航試験あるいは Pure swaying, Pure yawing 試験から得られる舵直圧力の微係数を Fig. 5 に示す。

舵の直圧力に対して、流速は2乗、流入角は1乗の形で効くことはよく知られている。舵位置における横流れ速度が微小であり、プロペラが軸方向の流速のみを k 倍に増加させると考えると、流入角は約 $1/k$ 倍となる。したがって、プロペラが稼動している場合、操縦運動によって生じる舵直圧力はプロペラの増速率におよそ比例して増加することになり、本結果はそれを裏づけている。

3.3 船体によって生じる流体力

この力は船全体に働く力から前節で述べた舵による力を差し引いて求めたものであり、船体とプロペラに働く

Fig. 4 Interference coefficients of a lateral force on a hull

Fig. 5 Derivatives of lateral forces on a rudder

ている力という意味とは異なる。船体とプロペラに対する舵の干渉の性質を考えると、この力は舵を外した試験によってえられる力に対応するはずである。

斜航試験, Pure swaying, Pure yawing 試験で得られた、この力を線型微係数で表わし、 J_s を横軸に Fig. 6 に示す。同図中には、舵付きの試験で舵の寄与分を差し引いて求めた結果のほか、舵を外した試験の結果も一部示している。両者はよい対応を示しており、舵直圧力と a_H, x_H を用いて舵の影響を分離する考えの妥当性がわかる。

さらに、この結果からプロペラの影響が少くないこともわかる。湯室の実験例¹⁰⁾によると、斜航中、プロペラ自体に働く横方向の力は比較的小さいようであるから、プロペラの影響によって船体に働く力が変化したと解釈できる。従来、プロペラの影響はその後流中にある舵に対してのみ考慮すればよいとされており、MMG でも船体に働く横方向の力はプロペラの影響を受けず、船体のみの試験で得られるとしている。しかし、本例では船体に働く横方向の力にプロペラが無視できない影響を与えているといわねばならない。

以上の結果から船体に働く力に対するプロペラの影響は J_s によって整理できることも明らかである。第一報

Fig. 6 Derivatives of lateral forces (hull + propeller; refer to Fig. 1)

で述べた縦方向の力, 前節で紹介した舵の力も同様であるから, 加速, 減速中のすべての流体力は J_s でまとめられることになる。船体に働く力にプロペラがどのような流体力学的機構で影響を与えるかは今のところ明瞭ではない。そこで, いくぶん形式的にならざるをえないが, 簡略な形で J_s の影響の記述を考えてみる。この場合, 船体のみの試験で得られる流体力を基礎にして, J_s の影響を付加する方法が实际的で, 例えば次のような記述が可能であろう。

$$Y_{Hpv} = a_v + b_v/J_s$$

$$N_{Hpv} = c_v + d_v/J_s$$

.....

船体のみの試験で得られる流体力は, スリップあるいはスラストが零の場合に対応すると考えることができる。

以上の議論は線型流体力に関するものである。しかし, この線型項は, 非線型流体力が無視できない割合で含まれている試験結果から両者を分離する形で求めたものであるから, 非線型項の記述の仕方によって, 多少, その値が変わることもありうる。実際, この研究のように r と v の 2 次式の形で非線型項を考える場合と, 従来, しばしば用いられている 3 次式の場合とでは, 線型微係数の値に多少の差がある。しかし, その差によって本研究の結論が本質的に変わるわけではないから, 非線型流体力の取り扱いについては別の機会に詳しく検討したい。

4 加速, 減速中の操縦性

4.1 拘束試験結果による操縦性の推定

加速, 減速中, 操舵によって生じる旋回力は大幅に変化する。この力は 3.2 節で述べたとおり, 舵位置の流速で決まる。この流速を変える主因はプロペラの作動状態

であり, 船速で無次元化した形で表わした操舵による流体力は $\left(1 + \kappa \frac{8}{\pi} \frac{K_T}{J^2}\right)$ にほぼ比例して増減することになる。したがって, 減速中には大幅な舵効きの低下が生じ, 続いて述べる針路安定性とともな安全性に問題をもたらす。

針路安定性は旋回と横流れによって生じる流体力に支配されるが, 従来から舵に働く旋回抵抗が主として注目されている。操縦運動が微小であると, 旋回や横流れによって舵に作用する力は, プロペラによる流れの増速率 $\sqrt{1 + \kappa \frac{8}{\pi} \frac{K_T}{J^2}}$ にほぼ比例して変化する形で, 針路安定性に影響する。

しかし, 前述したように, プロペラは舵に対してだけでなく, 船体に作用する横方向の力に直接に影響する。旋回と横流れによる流体力の主力は船体に働く力であるから, この力に対するプロペラの影響は重要である。Fig. 6 によると, 個々の微係数の値も少なからず変化しているが, その変化の方向もまた重要である。個々の微係数はそれを組合せて得られる針路安定性判別項の形で主として針路安定性に効く。この針路安定性判別は結局のところ, 旋回と横流れの運動のそれぞれによる減衰力の着力点, l_r と l_v の前後方向の位置を比較することになる¹¹⁾。 $l_r > l_v$ であれば針路安定, $l_r < l_v$ のとき針路不安定になる。

Fig. 7 に J_s を横軸にして着力点を示す。図中, 実線は船全体の減衰力の着力点を, 破線は舵の影響を除いた場合の着力点を与える。舵は針路安定性に大きな寄与をしている。しかし, J_s による針路安定性の変化もきわめて大きく, そのほとんどがプロペラの船体に働く力に対する直接的な影響によって生じているのがわかる。この船は $J_s = 0.904$ の自航点では針路安定であるが, J_s

Fig. 7 Propeller load effects on course stability

の増加に従って、しだいに安定性が低下し、 $J_s=1.2$ 以上では針路不安定になっている。この針路安定性の変化が予想以上に大きいのは、それぞれの微係数がちょうど針路安定性に影響する方向に揃って変わるからである。

以上の検討から、減速中には舵効きのみならず、針路安定性の大幅な低下が生じることがわかる。このことは結局、プロペラ荷重度と操縦性の問題であるから、実船と自航模型間の縮率影響を考える際にも役立つ。多くの実績によると、模型は実船より針路安定になるが、摩擦修正分だけ模型の J_s が小さいことを考えると、この実績は説明できる。

従来、模型と実船の J_s のちがいの影響を、模型の舵面積の変更で考慮し、縮率の問題を解決する試みがなされている。しかし、舵に働く力のうち、旋回抵抗としての成分 (Y_{Rv} , Y_{Rr}) と旋回力としての成分 ($Y_{R\delta}$) とではプロペラの効果が違って現われることをこの方法では考えていない。また、船体に働く横方向の力に対するプロペラの直接的な影響も無視されており、縮率影響の考え方として問題がある。

4.2 自航模型による試験結果

拘束試験でえた諸結論の確認のため、自航模型による操縦性試験を行なった。拘束試験で求めた流体力を用いて計算した操縦運動と自航模型の運動との詳しい比較は別の機会に報告することにし、ここでは加速、減速中の操縦性の変化を紹介する。

Fig. 8 は加速、減速しながら操舵した結果の例である。実線で計測した運動を、破線で拘束試験成績を用いたシミュレーション結果をそれぞれ表現している。これを位相面軌跡の形で表現すると Fig. 9 をうる。縦軸、横軸はそれぞれ、 (L/V_s) , $(L/V_s)^2$ で無次元化した旋回角速度と角加速度である。

旋回角加速度 $\ddot{\psi}$ は加速中に大きくなり、減速中に小さくなっており、舵効きの変化を示している。また、 $r'=0$ の時の軌跡の傾きが針路安定性の指標になるが、減速中ほど傾きは大きく、針路安定性が低下していることがわかる。この結論は拘束試験の結果に一致している。

Fig. 8 Examples of manoeuvring motions under changing speed

Fig. 9 Phase plane trajectories of manoeuvring motions under changing speed

5 結 言

加速、減速中の操縦性について、詳細な拘束操縦性試験を行ない、その結果を自航操縦性試験で確めた。本研究で得られた主な結論は次のとおりである。

- 1) 加速、減速中の船に働く横方向の力はみかけの前進率 J_s によって整理できる。この力は舵の寄与による力を分離した形で記述するのが便利である。
- 2) 操舵によって舵に働く力は舵の単独性能、舵位置における伴流率およびプロペラによる増速率によって決まり、舵効きは増速率の自乗にはほぼ比例する。
- 3) 操縦運動によって舵および船体に働く横方向の力はそれぞれ、 J_s によって変化し、後者の影響が大きい。この横方向の力の変化によって、加速、減速中、針路安定性が大幅に変わる。この結果は操縦性における縮率影響の推定にも役立つ。

本研究の実施にあたり、多くの方々からご協力をいただいた。自航操縦性試験施設の使用を快諾された大阪大学の野本謙作教授、試験の実施に協力いただいた多田納

久義氏をはじめ、操縦性研究室の各位、広島大学における拘束試験に協力いただいた長谷川和彦助手、平尾三郎技官、また卒業研究等として本研究に参加された相馬秀世君、大岡正憲君、梅田宏規君、尾崎和行君らに深甚の謝意を表すしだいである。

また、本研究に対して文部省科学研究費補助金の交付を受けたこと、また、実験の一部は日本造船研究協会175部会に関連して実施したことを記し、関係各位にお礼申し上げる。最後に、解析にあたり広島大学計算センターのHITAC 8700および船舶工学教室のPANAFACO MU-300を使用したことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 仲渡, 小瀬, 寺本, 島宗: 船の加減速運動に関する実験的研究 (第一報), 日本造船学会論文集, 140号 (1976).
- 2) 山崎: 船の停止性能に関する基礎的研究, 関西造船協会誌, 168号 (1978).
- 3) 藤野, 切田: プロペラ逆転による制動時の船の操縦性について (第1報), 関西造船協会講演前刷, (1978).
- 4) 小川, 小山, 貴島: MMG 報告 I 操縦運動の数学モデルについて, 日本造船学会誌, 575号 (1977).
- 5) 浜本: MMG 報告 II 操縦性数学モデルの理論的背景, 日本造船学会誌, 577号 (1977).
- 6) 葛西, 湯室: MMG 報告 III 舵に作用する力と船体・プロペラの干渉, 日本造船学会誌, 578号 (1977).
- 7) 小瀬, 貴島: MMG 報告 IV 拘束試験の方法および試験装置, 日本造船学会誌, 579号 (1977).
- 8) 芳村: 舵有効流入速度の数学モデルの検討, 第53回 JTTC 第二部会資料, (1978).
- 9) 井上: 舵力について, 西部造船会技術研究会性能部会資料, (1978).
- 10) 湯室: 操縦微係数に及ぼすプロペラ, 舵の影響について, 日本造船学会論文集, 141号 (1977).
- 11) Philip Mandel: Ship Maneuvering and Control, Principles of Naval Architecture, SNAME, (1967).