HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船舶の運動性能に対する減揺水槽の影響
Author(s)	浅野, 一彦
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 31(1), 73-83
Issue Date	1980-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23706
Type	bulletin (article)
File Information	31(1)_P73-83.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
31(1), 73-83. 1980.

船舶の運動性能に対する減揺水槽の影響

浅 野 一 彦*

The Effect of an Anti-rolling Tank on a Ship's Motion Performance

Kazuhiko ASANO*

Abstract

I performed experiments concerning the effect of an Anti-rolling Tank (A.R.T) on a ship's motion performance. I used the USHIO MARU for these experiments.

The following experiments on the effect of A.R.T were made:

1, Inclining
2, Turning
3, Maneuvering

In the inclining experiment, KG was rised 0.14 m with the use of A.R.T.

In the turning experiment, there were shorter turning circles when A.R.T was used, and it is worthy of note that reverse-steering was observed.

In the maneuvering experiment, A.R.T did not effect perofmrance very much. But, heeling was greater when A.R.T was used in the maneuvering, turning experiments.

Because studies of this type have apparently not been published to date, further study of the turning experiment results is necessary.

緒　　言

船舶の横揺れ軽減のため，多くの装置が考案され実用化がなされた。北大水産学部の練習船，北星丸，研究調査船，うしお丸には，Anti-rolling Tank（以下，A.R.T と書く。）が装備されており，特に停船時の漁業実習や観測等に減揺効果を発揮している。

しかし，A.R.T を作動させることは船内に自由水を発生させることであり，見かけ上の重心は上昇し船舶の各種性能への影響が生じる。この影響の大きなものに安全性の低下が上げられる。A.R.T の作動により重心の上昇が生じ，復原力の低下や，動揺，旋回中の横傾斜の増加などが生じる。他の運動性能等への A.R.T があたえる影響については，A.R.T を装備した船舶は少なく，研究対象も減揺効果に関するものが中心であり，具体的に研究，発表されているものが少ない。

著者は北大水産学部の研究調査船，うしお丸を使用して旋回，操舵試験を行い，A.R.T. の影響を調べた。また，うしお丸は建造後，8年たちその間，装備の変更，新設が続き完成時の重心，排水量等は変化していると考えられ，今回新たにブームの増設に伴い安全性の面から重心査定の必要が生じたので，合せて A.R.T の作動による重心の上昇を計測した。

なお，表1にうしお丸の主要目を示す。

* 北海道大学水産学部　漁船工学講座
(*Laboratory of Engineering of Fishing Boat, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

Table 1. *Principal particulars of the USHIO MARU.*

Length (over all)	26.00 m
Length (bet. p.p)	22.70 m
Breadth	5.60 m
Depth	2.50 m
Draft (designed)	1.85 m
Initial Trim	0.60 m
Gross Tonnage	97.78 T
Main Engine	NIIGATA, 6M618 X 400 ps, 1000 r.p.m.
Propeller	Controllable pitch propeller Diameter 1500 mm
Tank Capacity	Fuel oil 6.75 T Fresh water 6.85 T Fresh water (B.W.T) 6.43 T A.R.T (at work) about 8.00 T

重心査定試験

試験方法

1. 試験は自由水の影響を少なくするためと，実際の使用状態確認のため満載状態で行なった。
2. 吃水はボートを降し，船首，船尾の吃水マークより計測した。
3. 傾斜角は東京航空計器の 2300-24002310 型傾斜計を使用して計測した。
4. 排水量等は試験時のトリムが 0.72m で初期トリム 0.60m との差が 0.12m なので，トリムの修正は行なわず，直接，排水量等曲線図から読みとった。また，海水比重の修正も行なっていない。

試験状態

試験場所　函館港内，試験日　昭和54年4月5日，天候　はれ，風向 ESE，風速　1～2m/s

吃水　船首マークにて　右 1.65m，左 1.67m，平均 1.66m，船首 F.P にて 1.66m

船尾 A.P にて　右 2.40m，左 2.36m，平均 2.38m

平均吃水　2.02m，トリム 0.72m

排水量　160.5T

積込物件（ボート，計測員2名）　0.5T

修正排水量 (Δ)　161.0T，相当吃水 2.02m，T.K.M 2.78m

移動重量 (W)　右 271.0kg，左 350.5kg，平均 310.8kg，移動距離(L) 4.5m

試験結果と考察

A.R.T 作動時

Table 2. *Heel of the inclining experiment with A.R.T.*

weight		heel (deg.)	difference (deg.)
starboard	port		
271.0 kg	350.5 kg	0.3	
	620.5	−1.6	1.9
271.0	350.5	0.1	1.7
620.5		1.4	1.3
271.0	350.5	0.1	1.3
		average (θ)	1.6

傾斜試験結果を表2に示す。

$$GM = \frac{W \times L}{\Delta \times \tan\theta} = \frac{0.3108 \times 4.5}{161 \times 0.0279} \fallingdotseq 0.31\ \mathrm{m}$$

$$KG = T.K.M - GM = 2.78 - 0.31 = 2.47\ \mathrm{m}$$

A.R.T 停止時

傾斜試験結果を表3に示す。

Table 3. *Heel of the inclining experiment without A.R.T.*

weight		heel (deg.)	difference (deg.)
starboard	port		
271.0 kg	350.5 kg	−0.3	
	620.5	−1.1	0.8
271.0	350.5	−0.4	0.7
620.5		1.0	1.4
271.0	350.5	−0.4	1.4
		average (θ)	1.1

$$GM = \frac{0.3108 \times 4.5}{161 \times 0.0192} \fallingdotseq 0.45\ \mathrm{m}$$

$$KG = 2.78 - 0.45 = 2.33\ \mathrm{m}$$

ここで満載状態での A.R.T の影響による重心の上昇を計算で求めてみる。図1にうしお丸の A.R.T の寸法を示す。

ここに，G_0G；重心の上昇，I；自由水の二次モーメント，ρ；液体の比重とおくと，

$$G_0G = \frac{\rho \times I}{\Delta}$$

$$I = I_1 - I_2$$

$$I_1 = \frac{3 \times 5.6^3}{12} = 43.90\ \mathrm{m}^4$$

$$I_2 = \frac{3 \times 3.4^3}{12} = 9.83\ \mathrm{m}^4$$

また，自由水は清水なので，$\rho = 1$ とおくと，

$$G_0G = \frac{34.07}{161} = 0.21\ \mathrm{m}$$

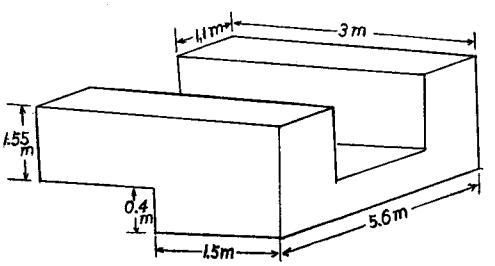

Fig. 1. Dimensions of A.R.T.

となり，傾斜試験の結果より得られた A.R.T の作動による重心の上昇 0.14 m は計算値 0.21 m に比べ低い値となっている。このことは A.R.T の下部の移動部が水槽の長さの半分であり，これが自由水の移動のさまたげになり重心の上昇を防いでいるのと，A.R.T の停止方法が上部のエアーダクトのバルブの閉鎖により行なうため，完全に A.R.T の作動を停止できず A.R.T 停止時に自由水の影響が残るためと考える。

傾斜試験で得られた A.R.T の作動による重心の上昇値より A.R.T の自由水の二次モーメントを求めると，

$$I = 161 \times 0.14 = 22.54\ m^4$$

となる。

うしお丸の運航においてA.R.Tの作動による重心の上昇を計算する時は，I=22.54m⁴ を使用するのが実際的であろう。

旋 回 試 験

試験方法

1. 旋回径は船首，船尾部の二ケ所に水平測角盤を置き，浮標を計測，記録してもとめた。
2. 浮標は航路用ブイを使用した。このため浮標は風，波等に影響されず一定位置にあり，海底の深度など旋回への影響の変化はないと考える。
3. 風，波の影響による変化を除くため，各旋回試験の進入コースは約60°と一定にした。
4. 舵角は各旋回とも30°である。
5. 主機負荷の変更は主機回転を一定として，可変ピッチプロペラのピッチ変更でおこなった。
6. 旋回時の傾斜は前述の東京航空計器の傾斜計を使用して計測をおこなった。

試験状態

試験日，場所　昭和53年8月30日　函館港外，七重浜沖

天候，風向，風速　はれ，NNE，2～6 m/s

試験は満載状態でおこなった。ただし，傾斜試験時の天候悪化により正確な吃水計測ができず，重心，排水量等の詳細は不明である。しかし，傾斜試験における傾斜の状態などにより，前述の重心査定時の状態に近いと考えられる。

試験結果と考察

各旋回試験の結果を表4～15，図2～7に示す。

主機負荷 1/2，左旋回A.R.T作動時の所要時間は計測ミスにより計測できなかった。

旋回径はA.R.T作動時の方がA.R.T停止時に比べ旋回径で約25%，旋回縦距で約15%，旋回横距で約25%ほど小さくなっている。ただし，主機負荷1/2，右旋回ではA.R.T作動時の方が大きな旋回径となっているが，これは旋回径の軌跡や所要時間の検討により計測ミスにより生じたものと考えられる。また，各旋回径はLppの約3～5倍である。

旋回時間は主機負荷4/4，右旋回時を除き，旋回径と同様にA.R.T作動時の方が短い。しかし，旋回初期においてはA.R.T停止時の方が所要時間は少ない。

Table 4. *Turning circles and heel.*

Eng. load	Turning direction	A.R.T	Tactical dia.(DT)	Advance (DA)	Transfer (Dt)	Mean heel	Max. heel
1/2	L	with	73 m	66 m	35 m	1.25	4.43
	L	without	92	88	45	0.54	2.57
	R	with	103	85	42	4.02	5.79
	R	without	84	74	37	3.02	4.86
3/4	L	with	100	91	43	3.59	4.86
	L	without	129	102	56	2.04	5.00
	R	with	65	62	27	6.26	8.75
	R	without	111	79	48	4.74	6.64
4/4	L	with	83	75	33	4.04	6.62
	L	without	98	83	50	2.03	4.33
	R	with	69	68	28	7.95	9.67
	R	without	86	73	23	5.53	7.00

Table 5. *Turning time. Eng. load 1/2, Turning to the left without A.R.T.*

	time from start		time of the section	heel	
Turning start	0 m	0 s	0 s		0°
15°		9.9	9.9	R	0.43°
45°		21.5	11.6		2.14°
90°		37.8	16.3		1.14°
135°		53.0	15.2		0.86°
180°	1	8.6	15.6	L	0.57°
225°	1	23.8	15.3		0.14°
270°	1	40.8	16.9		0.21°
315°	1	57.6	16.8		0°
360°	2	15.0	17.4	R	2.00°

Table 6. *Turning time. Eng. load 1/2, Turning to the right with A.R.T.*

	time from start		time of the section	heel	
Turning start	0 m	0 s	0 s	R	0.64°
15°		8.3	8.3	L	2.50°
45°		16.6	8.3		4.86°
90°		29.1	12.5		5.64°
135°		42.4	13.3		4.64°
180°		55.3	12.9		4.29°
225°	1	9.4	14.1		4.64°
270°	1	22.6	13.2		4.00°
315°	1	36.0	13.4		3.43°
360°	1	48.5	12.5		3.71°

Table 7. *Turning time. Eng. load 1/2, Turning to the right without A.R.T.*

	time from start		time of the section	heel	
Turning start	0 m	0 s	0 s	R	0.86°
15°		10.7	10.7	L	2.29°
45°		18.8	8.1		4.29°
90°		30.8	12.0		4.79°
135°		44.8	14.0		4.14°
180°		57.9	13.1		4.07°
225°	1	12.4	14.5		3.07°
270°	1	26.7	14.3		3.14°
315°	1	40.4	13.7		3.14°
360°	1	53.4	13.0		2.93°

旋回中の傾斜は各旋回試験において A.R.T 作動時は A.R.T 停止時に比べ約 1.3～2 倍ほど横傾斜が大きくなっている。各旋回試験において左旋回では回頭中期に，右旋回では回頭終了期に横傾斜が減少しているが，これは風や波の影響により生じたものである。また，右旋回の方が左旋回に比べ横傾斜が大きくなっているが，これも風や波の影によるものと考える。

A.R.T 作動時の横傾斜の増加は A.R.T 作動により，見かけの重心が上昇するため生じる。一般に定常旋回中の横傾斜は次の様に表わされる[1]。

Table 8. *Turning time. Eng. load 3/4, Turning to the left with A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	R 0.80°
15°	9.1	9.1	1.88°
45°	16.7	7.6	5.98°
90°	27.1	10.5	4.55°
135°	38.1	11.0	2.59°
180°	49.2	11.1	1.96°
225°	1 00.0	10.8	2.86°
270°	1 11.1	11.1	3.04°
315°	1 22.1	11.0	4.02°
360°	1 34.7	12.6	5.36°

Table 9. *Turning time. Eng. load 3/4, Turning to the left without A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	R 1.93°
15°	8.5	8.5	4.07°
45°	15.8	7.3	4.36°
90°	26.5	10.7	3.64°
135°	38.2	11.7	1.79°
180°	48.9	10.7	0.79°
225°	1 4.0	15.1	0.93°
270°	1 12.3	8.3	0.57°
315°	1 24.0	11.7	1.50°
360°	1 36.6	12.6	2.57°

Table 10. *Turning time. Eng. load 3/4, Turning to the right with A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	R 0.45°
15°	9.5	9.5	L 2.59°
45°			
90°	25.7		8.13°
135°	31.2	5.5	8.21°
180°	46.3	15.1	8.57°
225°	57.0	10.7	6.88°
270°	1 7.9	21.6	6.34°
315°	1 18.1	10.2	6.69°
360°	1 28.7	10.7	5.71°

$$\sin\theta = \frac{V^2 \times QG}{G \times R \times GM}$$

ここで，θ；横傾斜角，G；重力加速度，V；旋回速力，R；旋回曲率半径，QG；吃水の中央点より重心までの鉛直距離，GM；横メタセンター

この式より旋回中の横傾斜を増加させる要因は，速い旋回速力，小さな旋回径，小さな GM である。

A.R.T 作動時の GM は見かけの重心の上昇のために小さくなり，横傾斜は増加する。また，A.R.T 作動時は旋回径も小さく，この点も横傾斜を増加させる要因となる。

Table 11. *Turning time. Eng. load 3/4, Turning to the right without A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	L 0.50°
15°	7.8	7.8	2.71°
45°	15.5	7.7	4.64°
90°	25.4	9.9	5.64°
135°	36.1	10.8	6.21°
180°	46.9	10.8	6.07°
225°	58.6	11.7	5.71°
270°	1 10.6	12.0	5.50°
315°	1 20.9	10.3	3.86°
360°	1 31.6	10.7	4.29°

Table 12. *Turning time. Eng. load 4/4, Turning to the left with A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	R 1.15°
15°	8.8	8.8	3.06°
45°	16.4	7.6	5.98°
90°	27.2	10.8	5.86°
135°	36.6	9.4	4.46°
180°	47.1	10.5	3.06°
225°	57.6	10.5	3.44°
270°	1 8.2	10.6	3.95°
315°	1 18.5	10.4	4.46°
360°	1 29.4	10.9	5.35°

Table 13. *Turning time. Eng. lgad 4/4, Turning to the left without A.R.T*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	L 0.26°
15°	7.9	7.9	R 2.29°
45°	15.9	8.0	3.18°
90°	27.0	11.1	2.80°
135°	37.1	10.1	2.29°
180°	47.8	10.7	1.27°
225°	58.7	10.9	1.02°
370°	1 9.9	11.2	1.27°
315°	1 21.3	11.4	2.42°
360°	1 32.5	11.2	2.93°

A.R.T 作動時の旋回径の減少についての具体的な説明はできない。著者の知る範囲では旋回径に関する理論式等において重心の高さに関する項はなく，旋回実験の解析などでも GM は考慮されていない[2)3)]。ただ，今回の旋回試験では A.R.T 作動時は GM の減少により横傾斜が増加し，旋回中の水中の船体形状が変り流速分布等の変化により旋回径が小さくなったと考える。

その他，一般に船舶は高速になるほど旋回径は大きくなるが，今回の旋回試験では A.R.T の作動，停止にかかわらず主機負荷 4/4 で旋回径，旋回時間は減少している。この現象は reverse-steering と呼ばれる特異な旋回状態である[2)]。

Table 14 *Turning time. Eng. load 4/4, Turning to the right with A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	0°
15°	8.9	8.9	0°
45°	15.6	6.7	L 6.87°
90°	24.8	9.2	8.78°
135°	34.1	9.3	9.29°
180°	45.2	11.1	9.67°
225°	53.0	7.9	7.89°
270°	1 2.6	9.6	7.89°
315°	1 11.9	9.3	7.13°
360°	1 21.9	10.0	7.00°

Table 15. *Turning time. Eng. load 4/4, Turning to the right without A.R.T.*

	time from start	time of the section	heel
Turning start	0 m 0 s	0 s	L 0.64°
15°	6.7	6.7	3.95°
45°	13.1	6.4	4.84°
90°	22.6	9.5	5.60°
135°	31.8	9.2	6.62°
180°			
225°	51.3		5.98°
270°	1 1.2	9.9	5.60°
315°	1 9.9	8.7	5.35°
360°	1 19.0	9.1	7.00°

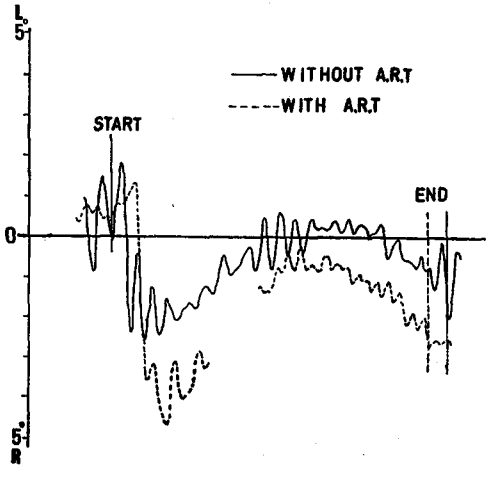

Fig. 2. Turning heel. Eng. load 1/2, Turning to the left.

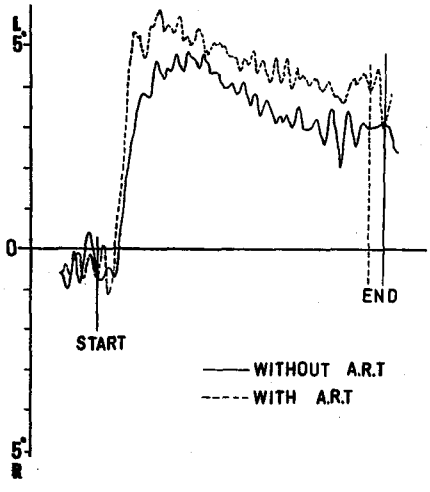

Fig. 3. Turning heel. Eng. load 1/2, Turning to the right.

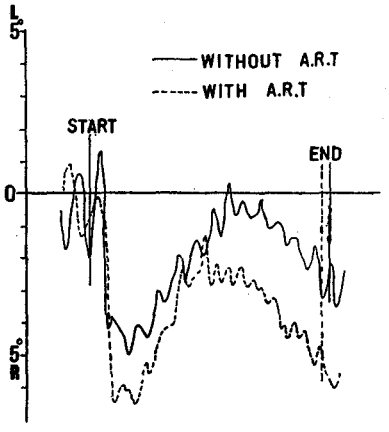

Fig. 4. Turning heel. Eng. load 3/4, Turning to the left.

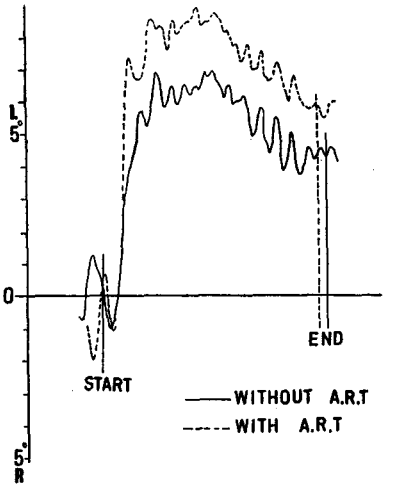

Fig. 5. Turning heel. Eng. load 3/4, Turning to the right.

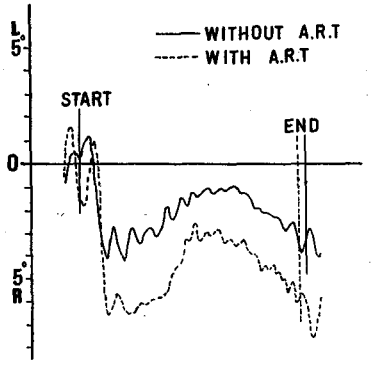

Fig. 6. Turning heel. Eng. load 4/4, Turning to the left.

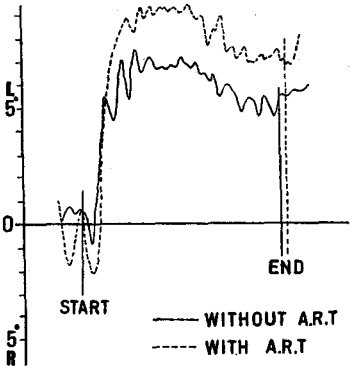

Fig. 7. Turning heel. Eng. load 4/4, Turning to the right.

この reverse-steering について，平野，高品が大きな横傾斜が生じる船舶について，Froude 数が 0.2～0.3 の範囲で船速の増加に従い旋回径が減少するという実験とその解析，計算をおこなっている[4]。ただ，この実験で使用された船舶は RO/RO 船やコンテナ船などの高速船型であり，うしお丸の様な肥大船型の場合に上記の結果が適合するかは疑問である。また，A.R.T 停止時にも reverse-steering は生じており，うしお丸の実験結果については別の観点からの考察が必要である。

操縦性試験

操縦性試験としてZ試験をおこなった。試験状態は操縦性試験を旋回試験の直後におこなっており，旋回試験時の状態と同じである。

Z 試験は主機負荷 4/4，舵角 30°，進入コース 200° でおこなった。

試験結果と考察

Z 試験の結果を表 16, 17 に示す。

Table 16. *Maneuvering experiment without A.R.T.*

Turning (deg.)	Time from start		Time of the section
0	0 m	0 s	0 s
30		11.6	11.6
Max. (70)		22.8	11.2
0		37.8	15.0
−30		42.7	4.9
Max. (−69)		52.6	9.9
0	1	7.4	14.8

Table 17. *Meaneuvering experiment with A.R.T.*

Turning (deg.)	Time from start		Time of the section
0	0 m	0 s	0 s
30		12.2	12.2
Max. (72)		24.1	11.9
0		38.2	14.1
−30		42.7	4.5
Max. (−70)		54.6	11.9
0	1	9.2	14.6

操縦性は A. R. T 停止時の方がわずかながら良い結果を示している。前述の様に，旋回試験においても旋回初期では A. R. T 停止時の方が速く回頭をおこなっている。しかし，今回の試験では A. R. T の作動，停止時の操縦性の差は微々たるもので，A. R. T の影響はないと考えるのが妥当であろう。ただ，転舵に伴う横傾斜は A. R. T 作動時は大巾に増加するので，操船に際して充分な注意が必要である。

結　　言

うしお丸の運航に際し，A. R. T 作動時の重心の上昇は計算値より低いとは言え，軽荷状態の様に復原力の弱い状態では荒天時は安全の面から A. R. T を停止する必要があろう。また，A. R. T 作動時の急速旋回や大舵は横傾斜が大巾に増加するので避けねばならない。

A. R. T 作動時の旋回徐の減少については同様の実験が見当らず，今回のうしお丸の実験結果より A. R. T を装備した船舶の全てに同様の結果が生じるとは言いがたい。また，理論面からの研究も GM の影響については省略される場合が多く，今回の旋回試験の理論的解析は今後の研究を待ちたい。

reverse-steering については，今回の試験は A. R. T の影響を調べるのが主目的のため，主機の排気温度，燃料消費量など主機負荷や船速に関する正確な記録をしておらず，さらに旋回試験は天候にもめぐまれず，風や波の影響をかなり受けており，舵角を変えるなどした詳細な試験が必要である。しかし，reverse-steering と言うめずらしい現象を計測できたことは試験の目的外とは言え大きな成果であると考える。

謝　　辞

本論文をまとめるにあたり，本学部漁船運用学講座，稲葉恭人助教授より資料や助言をいただいた。さらに試験にあたりうしお丸乗組員および講座学生の協力を得たことを記して謝辞とする。

文　　献

1) 大串雅信 (1961). 理論船舶工学　下巻. 276 p. 海文堂，東京.
2) 元良誠三 (1964). 船体運動力学. 135 p. 共立出版，東京.
3) 赤崎　繁 (1936). 船の旋回圏について. 造船協会々報 64, 115–123.
4) 平野雅信・高品純志 (1979). 横傾斜を考慮した旋回運動の計算. 第 58 回 JTTC 第 2 部会資料.