HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁船におけるオートパイロットの比較実験：アナログ型式とディジタル型式
Author(s)	烏野, 慶一; 河島, 茂男; 由井, 勝男
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 35(2), 109-116
Issue Date	1984-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23853
Type	bulletin (article)
File Information	35(2)_P109-116.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北 大 水 産 彙 報
35(2), 109-116. 1984.

漁船におけるオートパイロットの比較実験
——アナログ型式とディジタル型式——

烏野　慶一*・河島　茂男**・由井　勝男**

Comparative Studies of Autopilots on a Fishing Vessel
——Conventional Analogue A/P and New Digital A/P

Keiichi KARASUNO*, Shigeo KAWASHIMA**, Katsuo YUI**

Abstract

This paper describes test results concerning course-keeping performance, using a conventional analogue-type autopilot (CONV. A/P) and a direct digital control type autopilot (DDC A/P) on a fishing vessel 1,119 GT..

The DDC A/P was of a model reference adaptive type, and for the sake of the performance tests a CONV. A/P was used together with it on the same vessel.

Conclusions from the experiments are as follows:

1) The DDC A/P on board showed stable performance without being damaged.

2) System identification due to MRAS method of the ship's maneuverability was carried out by Nomoto's K, T mathematical model and the K, T results were obtained accurately by means of 5 deg. or 10 deg. zig-zag tests.

3) The DDC A/P was superior to the CONV. A/P in that it showed less rudder movement while keeping the course.

緒　　言

昭和58年12月末に竣工した本学漁業練習船おしよろ丸(IV世)には32ビットのスーパミニコンが装備されており，これを用いた「漁船におけるコンピュータ制御に関する実験的研究」が計画され実行に移されつつある。その内容には，大洋航行における所定時刻・所定地点の通過や漁撈中の船体姿勢・船速制御等が挙げられており，それには可変ピッチプロペラによる船体制御，オートパイロットおよびバウ・スラスタによる船首方位制御等が相互に関連して，効率よく自動的に，しかも高い信頼性でもって，行えるようにする必要がある。この計画を遂行するに先立って，旧おしよろ丸（III世）を用いたディジタル・オートパイロット（電子計算機により制御される自動操舵装置）の作動および性能についての確認実験を実施し，従来のアナログ・オートパイロット（機械・電気回路により制御される自動操舵装置）の性能と比較した。

* 北海道大学漁船工学講座（*Division of Fishing Boat Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*）

** 日本無線株式会社（*Japan Radio Co., Ltd.*）

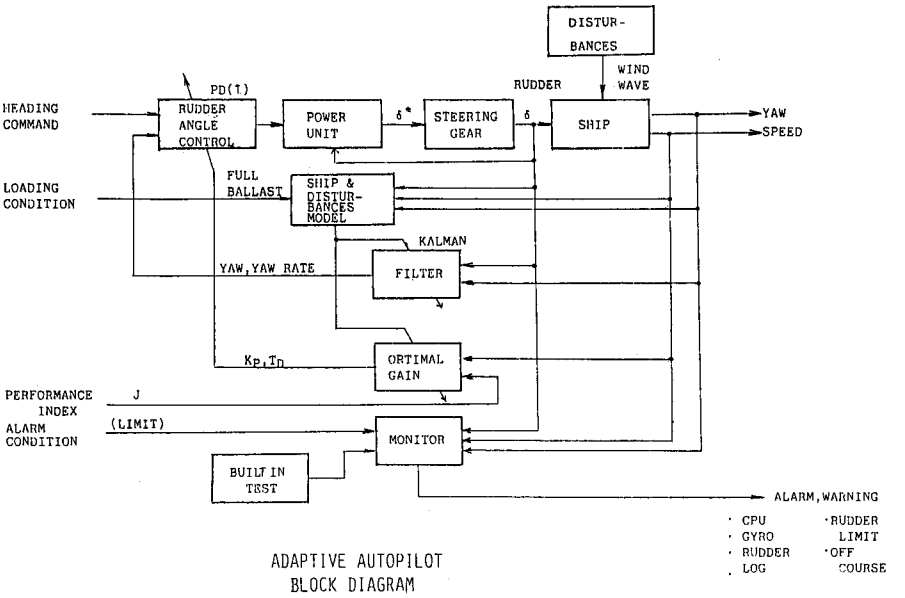

Fig. 1. Block diagram of direct digital control autopilot (DDC A/P).

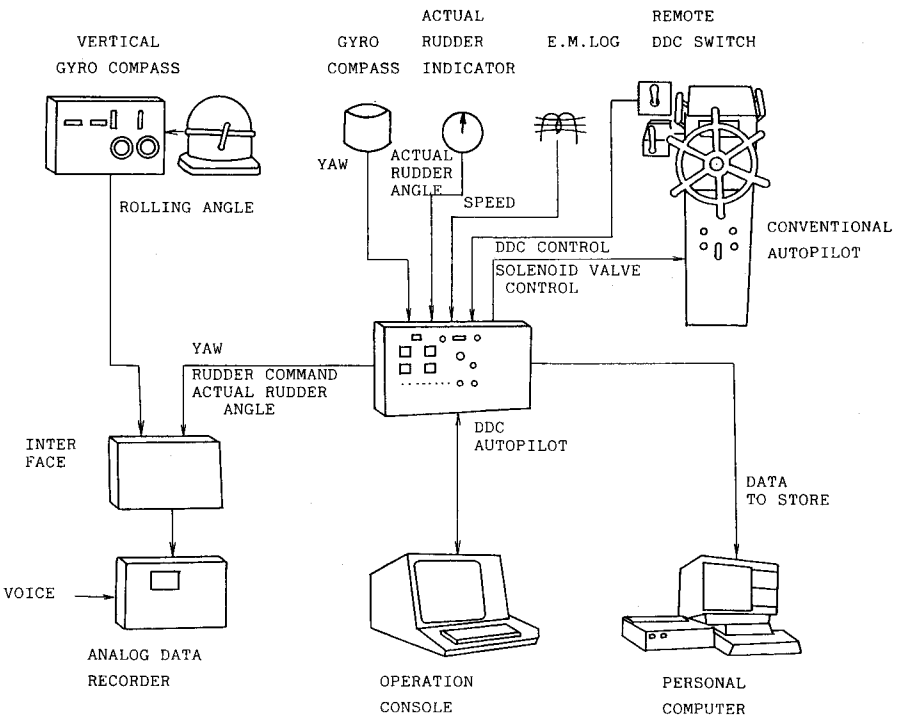

Fig. 2. Arrangement of instruments for experiments.

ディジタル・オートパイロットと実験システム

ディジタル・オートパイロット（Direct Digital Control Autopilot）はディジタル・コンピュータを利用することによってアナログ制御では得にくい，きめ細かなまた複雑な処理のできる制御を可能にする。その結果，制御性能を向上させうる特長をもっている[1~3]。例えば，船首方位信号をとり込んで最適制御理論を基礎にディジタル的に処理をし，舵を制御することによって次のような機能を持たせることができる。

1） 省エネルギーを目的とした保針操舵

船体運動特性，海象，気象の時間的変化に適応して，オートパイロットに最適な舵の取り方をさせ，それによって無駄な操舵を省き，推進エネルギーを最小限におさえる。

2） 操船の安全性を目指す定回頭角速度変針および定旋回半径変針

操舵によって最短時間で一定の回頭角速度に達し，船をその角速度を保って旋回や針路変更をすること，又，旋回による船速低下を配慮しながら一定の円軌道を描いて旋回や変針をすることにより，操船を安全なものにし，延いては変針後の定針時のふらつき防止や旋回・変針中の無駄な操舵による速力低下防止によって省エネルギーを行う。

本論文に述べるディジタル・オートパイロットは従来のアナログ型オートパイロットと比べると

1） 船体操縦運動および波・風による外乱のモデル化を自動的に行い。

2） 信号として不要な雑音の混入した船首揺れ（yawing）や回頭角速度（yaw rate）は，カルマン・フィルタによって最適な推定がなされ，

3） 省エネルギ評価関数を最小にする最適制御則による操舵を行える。

以上の特長をもったものである。装置システムのブロック図を図1に示す。

本実験システムは既設のアナログ型オートパイロットと併設して実験を行う必要から，図2に示す機器配置とした。即ち，従来の操舵スタンドの操作モード選択スイッチ（手動・自動・遠隔・緊急）等を利用して従来のアナログ型オートパイロットとディジタル型オートパイロットの切換を行い，ディジタル・オートパイロットの場合にはその本体から操舵機パワーユニットのソレノイド・バルブ信号を操舵スタンドに送るようにした。又，ディジタル・オートパイロット本体には，ジャイロコンパスからの船首方位信号，舵角指示器からの舵角信号および電磁ログからの船速信号が入力されて，それらは制御操作卓であるCRTキーボードからの指示に従って信号処理されるようになっている。なお，制御操作卓のCRTキーボードのCRT上には制御関係の諸係数および船体運動等の各種データが表示されるようになっているが，データの数値表示・図形表示および記録・解析用に別途ミニフロッピ付パーソナルコンピュータを設置した。

供試船と実験海域および実験状態

実験に用いた船体の要目および実験状態を表1に示す。実験は，昭和58年9月17日～9月20日の期間に玉野から函館への回航時に行ったもので，本州太平洋岸沿いの海域で，比較的穏やかな海象で実施された。実験海域を図3に実験時の海象状態等と併せて示す。実験中船体の縦揺れは大きくなかったが，横揺れ角は±4度程度であった。

Table 1. Principal particulars and condition of the ship for the test

Length between perpendiculars	60.5 m
Breadth	11.0 m
Depth	5.40 m
Draft	4.31 m
Displacement	1,803 ton
Gross tonnage	1,119.7 GT.
Block coefficient	0.611
Fore draft (test)	2.65 m
Aft draft (test)	4.67 m
Mean draft (test)	3.66 m
Displacement (test)	1,430 ton
Type of propeller	C.P.P.
Blade numbers of propeller	4
Diameter of propeller	2.75 m
R.P.M. of propeller shaft (test)	210
Pitch angle of propeller blades (test)	20 deg.
Ship speed (test)	11.3 knot
Height of rudder	3.00 m
Area of rudder	6.00 m
Rudder area ratio AR/Ld (test)	1/36.9

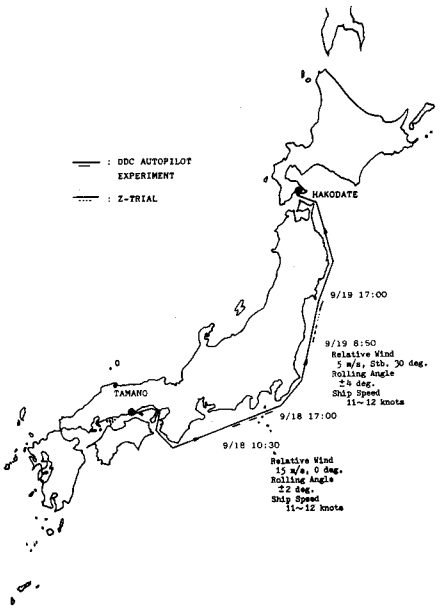

Fig. 3. Sea route and weather during experiments.

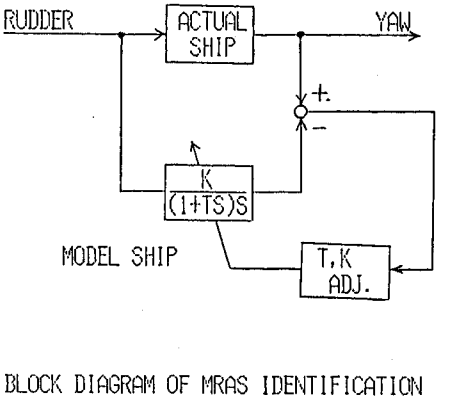

Fig. 4. Block diagram of system identification for ship.

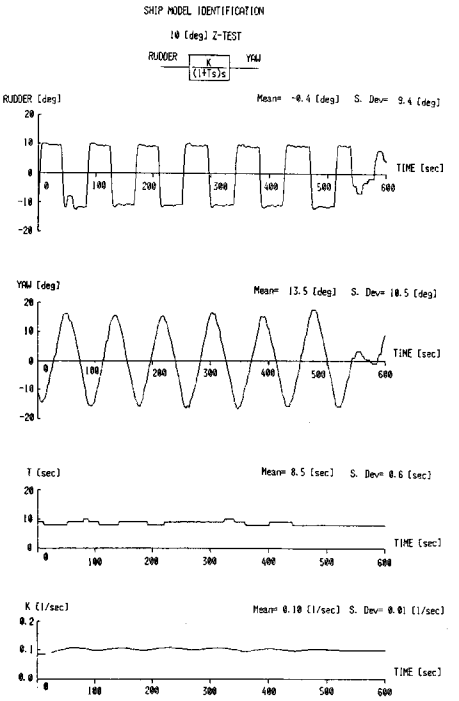

Fig. 5. Time histories of 10 deg. zig-zag test for system identification.

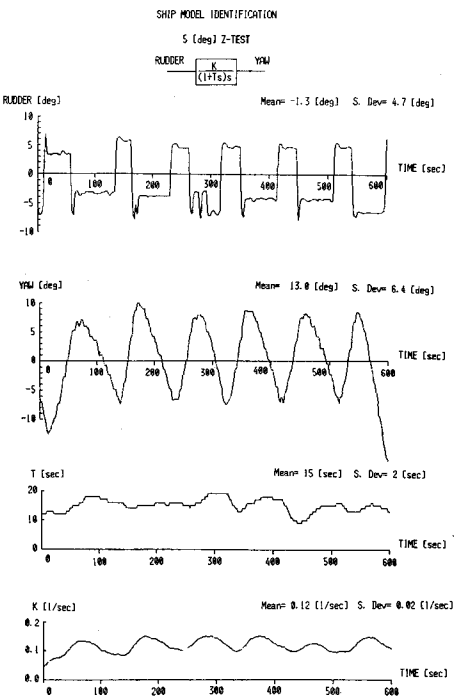

Fig. 6. Time histories of 5 deg. zig-zag test for system identification.

船体操縦運動特性の測定

モデル規範型適応制御システム[3,4]を逐行するには，先ず現時点における船体操縦運動特性の把握即ち，システム同定が要る。船体の操縦運動モデルを野本[5]の舵角（δ）に対する回頭運動（$\dot{\psi}$）の1次系線型応答方程式 $T\cdot\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K\cdot\delta$ で表わし，追従性指数 T および旋回力指数 K をモデル規範型適応システムにより同定する。この同定結果により，舵角 δ を与えた時の船首揺れ角 ψ が予測可能となって，最適なオートパイロットの設計ができる。モデル規範型適応システムによる船体操縦運動特性の測定ブロック図を図4に示す。

この適応システムでの K および T の同定を行うにおいて，通常操縦性試験で行われる Z 試験を実施した。これから得られる時々刻々の舵角 δ，船首揺れ角 ψ，K および T の値等を図5, 6に示す。前者は10° Z 試験の，又，後者は5° Z 試験の結果である。10° Z 試験の結果は，T, K ともに安定した数値を示しているが，一方，5° Z 試験では前者に比べて T, K とも大き目であり，且つ，操舵に従って周期的に変動している。

上述の結果は，船体旋回運動の強さによる非線型性を考慮すると運動の小さな5° Z 試験の T, K 値が，10° Z 試験のものより大き目に出ることは十分納得できるものである。又，T, K 値の周期的変動に関しては，本船の直進舵角が略左舷1度であったことから，小舵角を左右舷にとる5° Z 試験では10° Z 試験と比して直進舵角の影響が相対的に大きくなった結果と思われる。

本来，モデル規範型適応システムによる操縦運動の同定は必ずしも Z 試験のように型にはまっ

た操舵を必要としない点に特長があるが，前述の結果からは充分な舵角をもって操舵すれば，オンラインで船体運動特性の測定が十分可能なことが分る。なお，通常の保針操舵における小さな操舵運動からの同定は，今後研究すべき点である。

比較実験とその結果

オートパイロットが利用される状況の大部分は，一定針路に向けて船を走らせる場合である。オートパイロットによる自動変針も実際に行われるが，一航海での時間的に占める割合は微小なものである。そこで，今回の比較実験は，保針操舵中の性能比較に焦点をあて，略同じ海象・気象下にて即ち略同じ海域で時刻は相前後して行われた。金華山沖にて，船速 11～12 ノット，針路 18 度，風力階級 4（風向：北東），波浪階級 1（方向：北東），うねり階級 1（方向：北東）での実験である。

オートパイロットによる保針操舵中の船首揺れ角（yaw angle）および舵角（rudder angle）の時系列結果を図 7 および図 8 に示す。それぞれの図はディジタル・オートパイロット（DDC A/P）及び従来のアナログ・オートパイロット（CONV. A/P）のものである。図 8 における CONV. A/P の設定コースが，20 度になっているが，このオートパイロットには積分制御が含まれていないことによるオフセットエラーと機械系の設定のズレのために設定コース 18 度からはずされている。

両オートパイロットの時系列結果を見てすぐに気付くことは，舵角の取り方が両者で相異なることであろう。DDC A/P では一定舵角を略保持しているが，CONV. A/P では時折スパイク状に大舵角を取っていることである。舵角における両オートパイロットの相違に反して，船首揺れの方は大差ないように見てとれる。敢えて言うなれば，最大船首揺れ角が DDC A/P で大きいと言える。これらの差異を数値で表現すれば，舵角の平均値および標準偏差，船首揺れの標準偏差は表 2 のようになる。船首揺れの標準偏差に両オートパイロットの差が殆んど無いにもかかわらず，舵角の標準偏差に大きな差が顕われており，前述の時系列データを一見した結果と一致する。

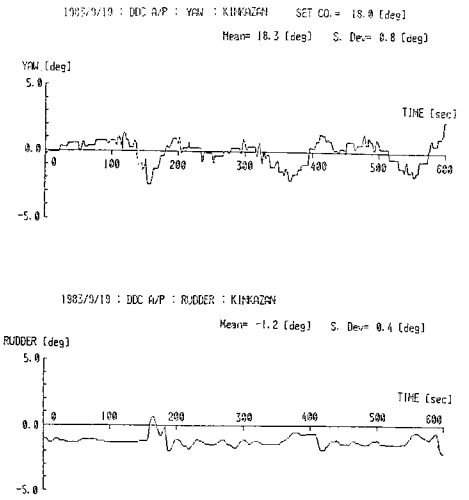

Fig. 7. Time histories of steering motions for course-keeping by DDC A/P.

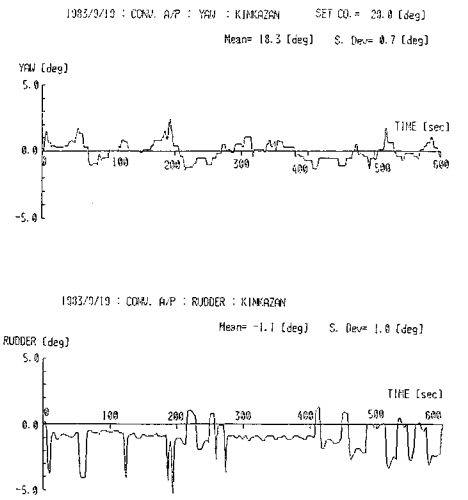

Fig. 8. Time histories of steering motions for course-keeping by CONV. A/P.

Table 2. Standard deviations of yaw and rudder angles on course-keeping motion for autopilots

Item		DDC A/P	CONV. A/P
Yaw angle	Standard deviation	0.8 deg.	0.7 deg.
Rudder angle	Standard deviation	0.4 deg.	1.0 deg.
	Mean value	−1.2 deg.	−1.1 deg.
Performance criterion by Koyama (Increase of ship resistance)		0.00049 rad².	0.0020 rad².

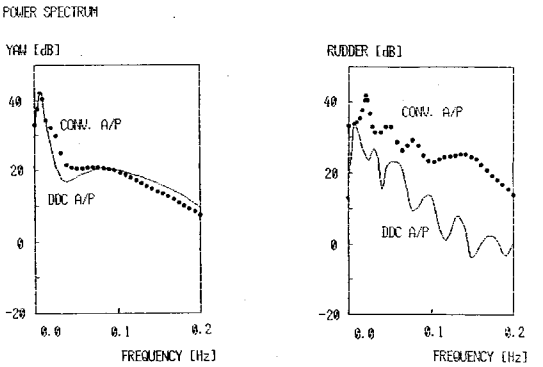

Fig. 9. Power spectrums of DDC A/P and CONV. A/P for course-keeping motions.

この時系列のパワースペクトルを求めて比較すると図9のようになる。船首揺れのパワースペクトルには両オートパイロットに大きな違いが見られないが，舵角の方には大きく差が顕われている。即ち，全周波数範囲にわたって，CONV. A/P の方が DDC A/P より舵角のパワーが大きく，特に CONV. A/P では，0.02 Hz 付近に最大のピークが見られる（舵角の時系列データにも約50秒周期のスパイク状操舵が現われていることと一致する）。この舵角パワースペクトルでの相違から言えることは，CONV. A/P は大きな舵角を取っているにもかかわらず，この効果が船首揺れの減少になって現われず，無駄な操舵に終っていることが分る。

この無駄な操舵は船速低下を助長し，結果的には推進エネルギー・消費燃料の増加を招くので，好ましくなく，又，操舵機の故障の原因の一つにもなる。無駄な操舵によるエネルギー損失は，理屈的には直接油量計を用いて測定できるが，本船には油量計が装備されていないこと，又，油量計で計測できたとしても省エネルギー効果は消費エネルギーの1%程度と予想されているので，オートパイロットの違いによる有意差を得るには相当長時間の航海による比較が必要である。そこで，ここでは小山[6]による広い意味での抵抗増加の評価関数 J で両オートパイロットの比較を行ってみる。

$$J = \bar{\psi}^2 + \lambda \cdot \bar{\delta}^2$$

ここに　$\bar{\psi}^2$: 船首揺れの分散 [rad²]

$\bar{\delta}^2$: 舵角の分散　[rad²]

λ : 重み係数

重み係数 $\lambda=6$ を使用すると，DDC A/P で $J=0.00049$ [rad²]，CONV. A/P で $J=0.0020$ [rad²] となっている。従って，実験時の比較的穏やかであった海象・気象下でも，DDC A/P により抵抗増加の低減を計ることができたと言える。荒天時には更に低減されるものと思われるが，今

後の実測で検証されよう。

ま と め

本論文は，新おしよろ丸のコンピュータ制御計画遂行を後にひかえて，ディジタル・オートパイロットの性能確認実験を旧おしよろ丸で行った。同時に，従来のオートパイロットとの性能比較を保針操舵実験で行った結果，両者の差異は船首揺れ角には出て来ず，舵角の取り方に大きく顕われ，従来のアナログ型オートパイロットでは無駄な操舵が行われていた。更に，ディジタル・オートパイロットの特長を生かしたモデル規範型適応システムによる操縦運動のシステム同定の結果，この同定法は通常の保針操舵においては未だ研究の余地があるが，5° Z および 10° Z 操縦試験のような操舵では操縦性指数 T, K を確定できるようである。

最後に本研究を遂行するにあたり，当講座高橋広弥助教授の御配慮に厚く感謝の意を表わすと共に，実験に際して，おしよろ丸船長藤井武治教授をはじめ航海士諸氏および乗組員諸氏に絶大なる御協力ならびに御教示を戴きました事，厚く御礼申し上げます。又，装備の設置に際して三井造船玉野事業所関係各位の御協力に深甚なる感謝の意を表します。

文 献

1) 大津皓平(1982, 1983). 船体運動の統計的最適制御に関する研究(1, 2). 日本造船学会論文集 **152**, **153**, 243-256, 19-25
2) 大津皓平 (1979). *Self-Tuning Autopilot* について. 航海 **61**, 36-41
3) 堀籠教夫 (1980). モデル規範形適応系によるオートパイロットについて (I, II). 航海 **63**, **64**, 87-92, 65-71
4) 藤井省三，水野直樹，田中伸幸，伊藤雅則，有江龍夫(1983). 船の変針におけるモデル規範形適応制御. 第 22 回 SICE 学術講演会前刷
5) H. Thöm (1980). Theoretical and experimental modelling of ship dynamics. Proceedings of symposium on ship steering automatic control, Genova-Italy, June 25-27, 1980, 99-117
6) 大津皓平・長谷川和彦 (1981). オートパイロットの評価と展望. 日本造船学会第 3 回操縦性シンポジウム, 243-280