

船用自動操舵装置の設計に関する研究

中谷俊彦*

On design of a ship's auto-pilot system for practical use

NAKATANI Toshihiko*

This paper describes a new ship's auto-pilot system based on two degrees of freedom PID control theory. The classical PID control law is still used for ship's auto-pilot system, however, the conventional system can not satisfy two conditions as suppressing a disturbance and following up a set point. In order to solve this problem, a new system was designed through two degrees of freedom PID control theory. Control simulations were carried out to evaluate the designed system. Lastly, in order to make certain that the system as designed, full-scale experiments were carried out using an actual small training ship, Wakashio Maru, at sea. As a result the new system was proved adequately fit for practical use.

Keywords : ship, control, auto-pilot, PID, two degrees of freedom, full-scale experiment

1. まえがき

船用自動操舵装置は、多くの船舶に搭載され、大洋航海中には欠かすことのできない代表的な航海計器の一つである。その制御則は、現在でも古典的なPID制御¹⁾がベースとなっている。

この制御則を用いる場合、船体動特性に適応した調整作業が必要となる。例えば目標値追従特性、外乱抑制特性のどちらを優先するかによって制御ゲインが異なる。

本研究では、PID制御系の基本的な調整を行い、風浪等の外乱も考慮したモデルで検討を行い、その後、制御特性を改善してシミュレーションを実施した。

最後に、フィールドでの実用性を確認するため、本校の附属練習船・若潮丸を用いて富山湾で実船実験を実施した。

2. PID制御則による自動操舵

2-1 保針操舵系の設計

自動操舵のための演算は、他の産業界と同様にPID

制御則が基本となっている²⁾。PIDコントローラの制御特性は、PIDパラメータと呼ばれる比例ゲイン K_p 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D の値に依存する。図1は、制御シミュレーションを行うために、制御系設計ツールを用いて設計した保針操舵系の基本ブロックである。まず、このブロック線図を基にして制御ゲイン等の検討を行う。

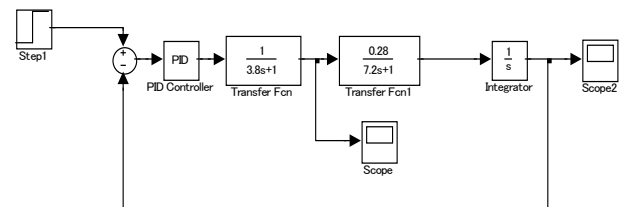


図1 保針制御系の基本ブロック

2-2 制御ゲインの決定

PIDパラメータの実用的な決定方法として、ジューグラ一・ニコルスの限界感度法^{3),4)}と呼ばれるものがある。この方法の手順を以下に示す。

- ① コントローラを比例制御のみとし、応答が持続振動となるまで比例ゲイン K_p を少しずつ大きくする。
- ② 持続振動時の比例ゲイン K_p が限界感度 K_C であり、このときの持続振動周期を T_C とする。

* 商船学科
e-mail: nakatani@nc-toyama.ac.jp

表1 ジーグラニコルス則によるPIDパラメータ

	K_p	T_I	T_D
PID	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$
PI	$0.45K_c$	$0.83T_c$	
P	$0.5K_c$		

③ 求めた限界感度 K_c と持続振動周期 T_c から表1に基づいてPIDの各パラメータを決定する。

上記の手順に従って求めた K_c 、 T_c を表1に代入し、比例ゲイン K_p 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D を決定し、図1のブロック線図で制御シミュレーションを実施した。一例として10度変針のものを図2に示す。約7度のオーバーシュートが生じているが、変針後、所定の針路10度に整定していることがわかる。

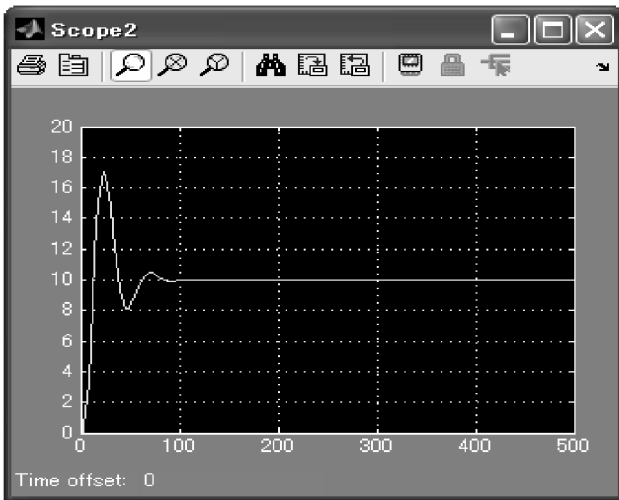


図2 10度変針シミュレーション

2-3 外乱に対する応答

次に設計した制御系の外乱に対する動作確認を行うため図3に示すようなブロック線図で検討を行った。このブロック線図は、船首回頭角速度信号にランダム外乱および一定外乱を印加したものである。図4の変針シミュレーション結果より、一定外乱によるオフセットを生じることなく変針動作が終了し、保針動作に移っていることがわかる。

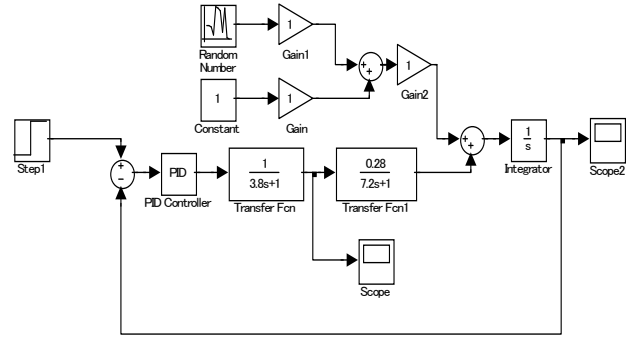


図3 外乱を考慮したブロック

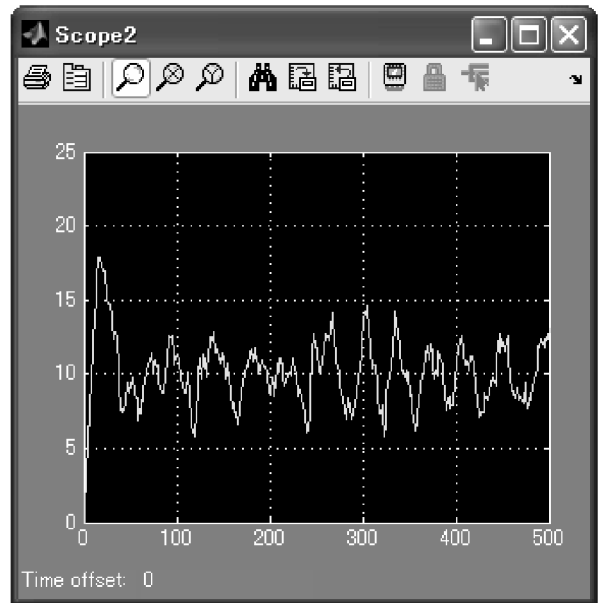


図4 10度変針シミュレーション(外乱あり)

3. 2自由度PID制御

3-1 従来のPID制御と2自由度PID制御

従来のPID制御には外乱抑制型と目標値追従型の2種類があり、1自由度PID制御と呼ばれる^{3),4)}。前者は外乱の影響を最適に抑制し、後者は目標値の変化に素早く追従させるものである。

表2の1自由度PIDに示すように、目標値変化に対する追従特性が最適になるようにPIDパラメータを設定すると、外乱抑制特性が非常に甘くなってしまい、逆に外乱変化の制御特性が最適になるようにPIDパラメータを設定すると、目標値追従特性が振動的になってしまう。

表 2 1 自由度PID制御と2 自由度PID制御の特性

方式	目標値追従特性	外乱抑制特性	制御応答
1自由度PID制御	○	×	
	△	△	
	×	○	
2自由度PID制御	○	○	

このように従来の PID 制御方式においては、目標値追従特性と外乱抑制特性のどちらか一方しか最適にできなかった。そこで、今回はこれを改善するために外乱抑制特性と目標値追従特性の双方を同時に最適化できる2 自由度 PID 制御^{3,4)}を適用し、制御シミュレーションで確認の後、実船実験を行うこととした。

3-2 2 自由度PID制御によるシミュレーション

2 自由度 PID 制御ブロックにも種々のものが提案されているが³⁾、ここでは工業的実用化に適しているものを採用し、シミュレーションによる動作確認を実施した。

図5に制御系の構成図を、図6に制御系設計ツールで作成したシミュレーション用のブロック線図を示す。今回は、自動操舵の作動がチェックしやすい変針動作に着目し、目標値追従型1 自由度 PID との比較検

討を行った。

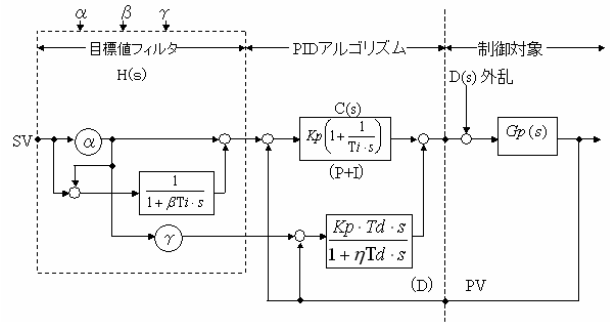


図 5 2 自由度 PID 制御の基本構成

図7は1自由度 PID 制御型自動操舵系に対して、整定後の180秒でステップ上の外乱を印加した結果である。図からわかるように、外乱を直ちに抑制できず、整定時間が長くなっていることがわかる。

これに対して、図8に示す2 自由度 PID 制御の場合、180 秒後のステップ外乱印加後、直ちに目標針路 10 度に整定していることがわかる。

以上のシミュレーション結果から、2 自由度 PID 制御型自動操舵装置の有効性が確認された。

4. 若潮丸による洋上での実船制御実験

最後に、設計した自動操舵装置を実際の船舶に適用した場合、洋上での実用に耐えうるかどうかを検証するため、本校の附属練習船・若潮丸を用いて富山湾で実船実験を行うこととした⁵⁾。

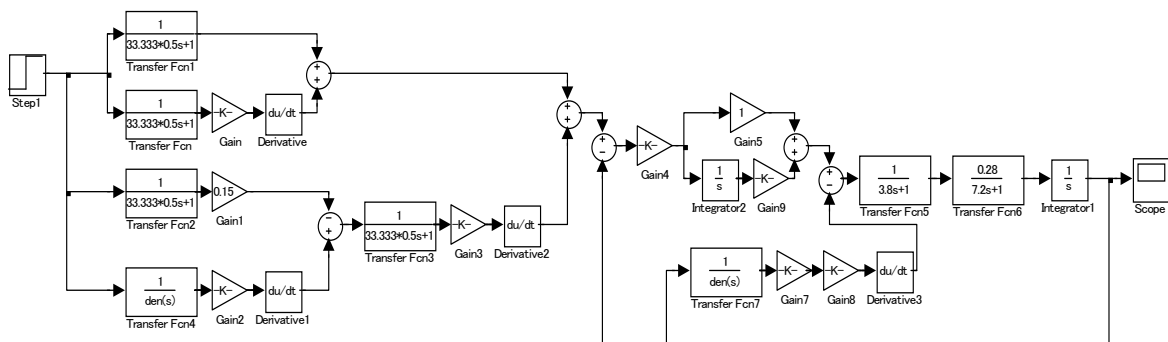


図 6 2 自由度PID制御による保針制御系のブロック図

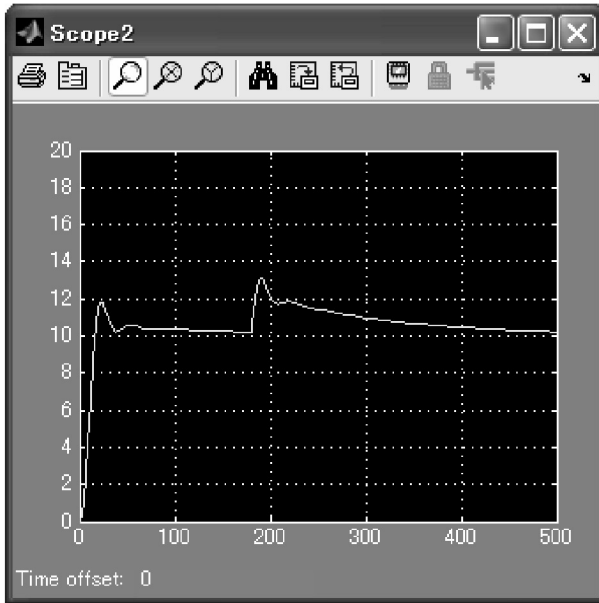


図 7 1 自由度 PID 制御の外乱応答

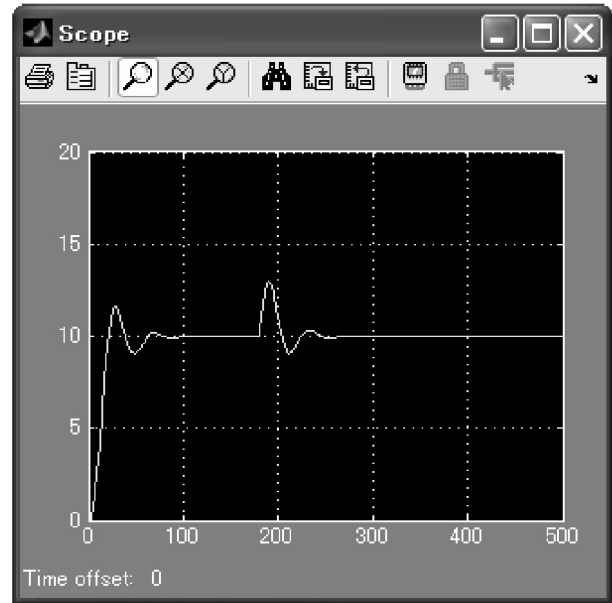


図 8 2 自由度 PID 制御の外乱応答

図9の左は、従来型PID制御による10度変針実験、右は2自由度PID制御によるものである。従来型では、オーバーシュートが大きく、また整定時間も長い。これに対して2自由度型では、良好な制御特性を示していることがわかる。

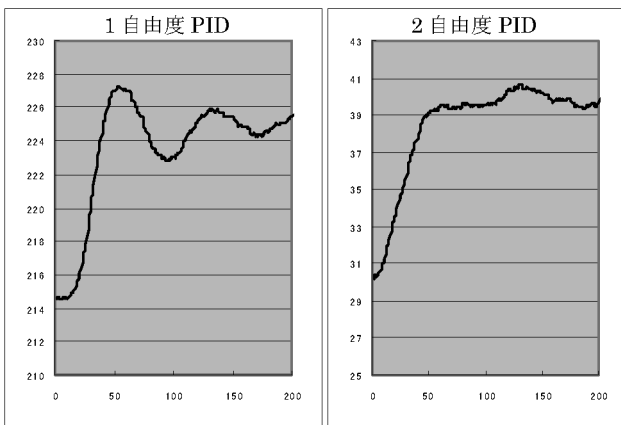


図 9 若潮丸による実船制御実験

5. あとがき

本研究では、まず従来のPID制御を使って簡単な船用自動操舵装置を設計し、制御ゲイン等を決定した。その後、風浪を模擬する外乱を入力し、シミュレーションによる動作確認を行った後、2自由度PID制御型に拡張し、従来型との比較を行った。

最後に、練習船・若潮丸のデータ処理システムに制御アルゴリズムを組み込み、富山湾で実船制御実験を実施した。

変針、保針実験の結果から、実用に耐えうる性能をもつことを確認した。

今後は、制御ゲインの微調整や種々の気象、海象条件の下での系統的な実験を実施したいと考えている。

実船実験で大変御世話になりました笹谷船長、佐々木機関長以下乗組員の方々に御礼申し上げます。また、図表作成で御世話になりました商船学科・航海コース岡島拓哉学生に感謝致します。

参考文献

- 1) 広井和男:計装・電気・計算機技術者のための実戦デジタル制御技術、工業技術社
- 2) 宮崎誠一:プロセス計装におけるデジタル制御系の設計と改善、工業技術社
- 3) 井上和夫:わかりやすい制御工学、森北出版
- 4) 森政弘、小川鉦一:基礎 制御工学、東京電機大学出版局
- 5) 岡島拓哉:船用自動操舵装置の設計について、平成21年度富山商船高等専門学校卒業報告、2009