可変ピッチプロペラを装備する船の自動負荷制御*

鷲見倫一**，桜井四郎**

1. まえがき

可変ピッチプロペラを装備する船は，固定ピッチプロペラを装備する船に比べて，主としてつぎの点ですぐれた特長を有している．

1. 前後進速度調整が迅速容易に操作でき，加速力・減速力が大きいので操船性がよい．
2. 曳船やトロール漁船などのように，低速で大きな推力を必要とする場合に，ピッチを調整することにより，主機の全出力を利用できるので，発生推力が大きい．

しかし，実船では種々の問題のために，これらの効果が現状では十分発揮されていないようである．

船が後進中，または停止状態から急に前進全力にピッチを操作したような場合，船の加速過程において一時的にプロペラの要求負荷が大きくなるために，主機が過負荷状態となることがある．これを防止するためには，ある程度時間をかけて段階的にピッチを進める方法，またはガバナに制限を設けて，一定量以上の燃料を供給せずに，トルクを制限する方法が一般に採用されている．前者の方法では，過負荷防止の見地から必要以上に時間をかける傾向となり，主機出力の利用率が低くなる．後者の場合は，ピッチを急に操作しても過負荷状態は生じないが，プロペラの要求負荷とバランスするまで回転数が下がるので，利用できる出力も低い．

また，曳航状態においても，曳航物の状況，海象条件などの変化に応じて，主機全出力運転に必要なピッチを操縦者が判断決定することは困難で，安全運転のため，ピッチを小さくしがちとなり，主機出力の利用率も低くなる．

通常，主機はガバナによって回転速度が一定となるように運転されるが，このほかに主機の負荷(トルク)があらかじめ設定された値に一定となるように，プロペラ翼角を自動的に制御する装置があれば，両者の設定を適当に組み合わせることにより，回転数とトルクの積，すなわち，出力を目的に応じた有効な値となるように制御できるので，可変ピッチプロペラの効果を十分発揮することができる．このような自動負荷制御系の実用例について報告する．

2. 基本原理

自動負荷制御系の基本的回路を図1に示す．船橋の操縦ハンドルに連結されたシンクロ制御変圧器CTとCPP（可変ピッチプロペラ）のピッチ調整装置を駆動するサーボモータSM_1，およびそれに連結されたシンクロ制御発信器CXとで構成される装置は，通常の遠隔制御によく使用されるサーボ機構であるが，本装置ではCTとCXの間に差動シンクロCDXを設けたのが特徴である．

CDXが電気的に中立の位置にある場合は，CTとCXの回転子の回転角は常に等しいが，CDXの回転子が中立からいずれかの方向に回転すると，CXの回転角はCTの回転角とCDXの回転角の和，または差に等しくなる．実際の主機の負荷を電気的に検出し，この信号と別に設けた負荷設定器よりの信号とを比較して，運転負荷が設定値より大きい場合は翼角を減少方向に，また設定値より小さい場合は翼角を増加方向に作動させるようにサーボモータSM_2を通じてCDXを駆動すれば，操作ハンドルCTを適当な位置においたままで，常に設定負荷に対応した翼角となるように，自動的に翼角が調整されるわけである．

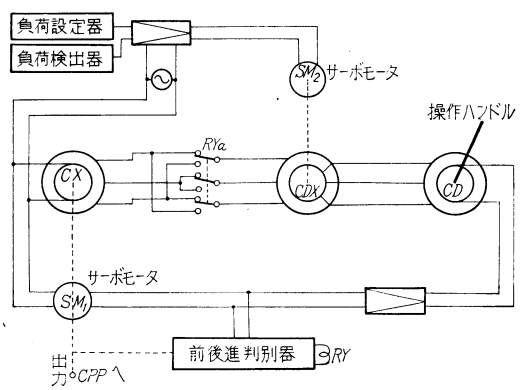

図1 原理説明

*原稿受付 昭和43年2月19日
**正会員 三菱重工神戸造船所（神戸市兵庫区和田崎町3の1）

プロペラ翼角が中立を境として，前進運転側にある場合と，後進運転側にある場合とでは，負荷偏差によって翼角を修正すべき方向が逆になるので，カムとスイッチよりなる前後進判別器によって，CDX の固定子の相を反転させることにより，前後進いずれの運転状態に対しても満足な制御ができるようにしている．

3. 実　用　例

3.1　A方式　図2にこの方式の回路を示す．本方式は過負荷保護を目的として開発したものである．制御の安定化をはかるため，CDX を駆動するサーボモータの動きを負荷設定器にフィードバックし，負荷偏差と翼角減少量の関係を図3に示すようにドループ特性を持たせた．

負荷が設定値より低い場合は，翼角増加方向に指令が出るので，RY 2がOFF となる．このとき，上限リミットも OFF となっているのでサーボモータは回転しない．負荷が設定値をこえて増加すると RY 2 が ON，RY 1 がOFF となるが，このとき，下限リミットがONであるので翼角減少方向にサーボモータは回転を始める．

翼角が減少すると負荷も下がるので，負荷偏差に応じた翼角でバランスした状態（RY 1，RY 2 がともに OFF）になるとサーボモータは停止する．負荷偏差が急に大きく生じた場合，翼角減少指令により翼角はどんどん減少するが，あらかじめ設定した翼角の下限値に達すると下限リミットが OFF となり，サーボモータは停止して必要以上に翼角を減少させることを防止する．

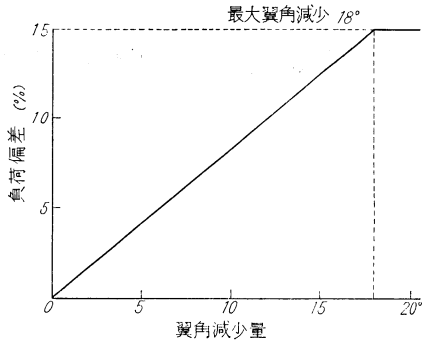

図3　ド　ル　ー　プ　特　性

翼角減少が開始されて上限設定値以下になると，すぐに上限リミットは ON の状態に復帰しているので，船速が追従してプロペラの負荷が下がり，翼角増加指令が出ると RY 1 によりサーボモータは翼角増加方向に回転する．船速の追従が十分で負荷が設定値以下まで下がると，サーボモータは上限リミットによって停止し，CDX は電気的に中立の位置に戻る．

本方式は青函連絡船八甲田丸に装備して所期の成果を収めた．

3.2　B方式　本方式も過負荷保護を目的としているが，図4に示す通り差動シンクロ CDX を駆動するサーボモータの制御は，回転角度をフィードバックする位置サーボではなく，サーボモータの回転速度をフィードバックして負荷信号とつり合わせるスピードレートサーボの方式をとっている．

この方式の場合，サーボモータの回転，すなわち，CPP の翼角減少量は過負荷の量に比例せず，過負荷の状態がなくなるまで翼角を減少させていくようになっている．ただし，翼角が変化する速さが負荷信号に比例し，負荷信号が大きければ速く，小さければ遅くなるようにして制御系を安定させている．

したがって，過負荷の状態になってもこれを設定値に戻すように翼角が減少し，設定値よりの偏差量が0となるように自動的に制御するので，負荷のドループはなくなり0となる．

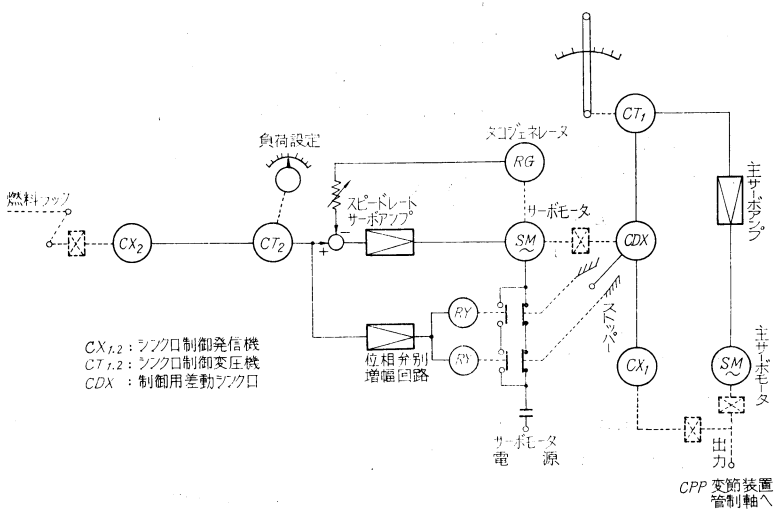

図2　A　方　式　回　路　図

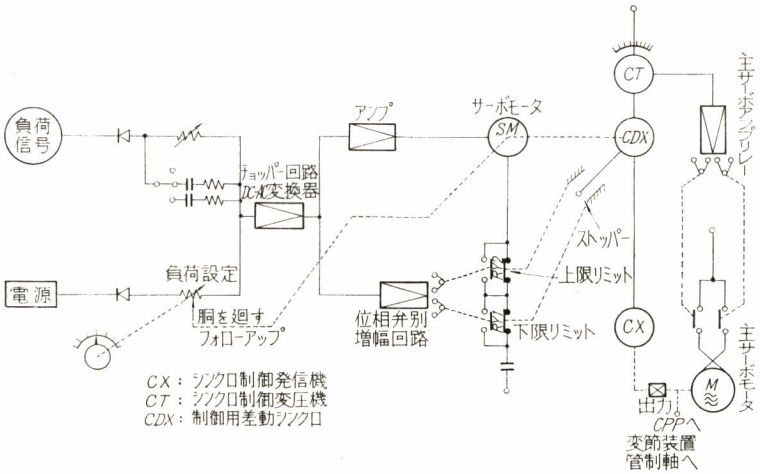

図4　B　方　式　回　路　図

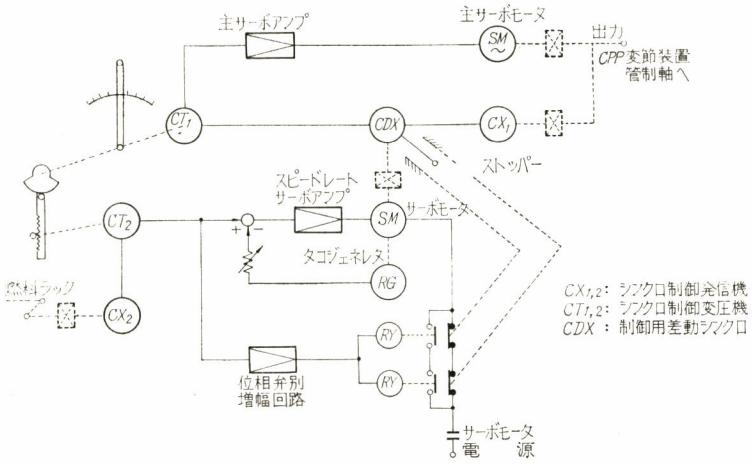

図5　C　方　式　回　路　図

3.3　C方式　図5に示す方式は，基本的にはB方式と同じであるが，翼角操縦ハンドルに負荷設定用シンクロ制御変圧器CT_2を連動させて，本格的な自動負荷制御運転を行なうもので，トロール漁船に採用して良好な結果を収めている．本方式の場合，操縦ハンドルは結果的には負荷を設定することになるので，ハンドル目盛は負荷目盛とし，翼角目盛は付記したような体裁になっている．

操縦ハンドルと翼角操縦用シンクロ制御変圧器CT_1は歯車で直接接続されているが，負荷設定用シンクロ制御変圧器CT_2は，操縦ハンドルの動きに対応して，ある曲線に沿ってまわるようにカム装置を介して，図7の写真に示すように連結されている．CPP翼角操縦用シンクロ制御変圧器は，操縦ハンドルの動きに対して歯車で直接回転され，CPPの翼角は操縦ハンドルの動きに比例して直線的に変化するようになっており負荷設定用シンクロ制御変圧器CT_2はこの翼角変化に対し，自由航走時の負荷変化に対応してまわるようにカムで連結され，図6に示す曲線に沿って回される．

いま，かりに操縦ハンドルを75%，(3/4)負荷の位置にとると，CPPの翼角は23°に向かって変節を始める．

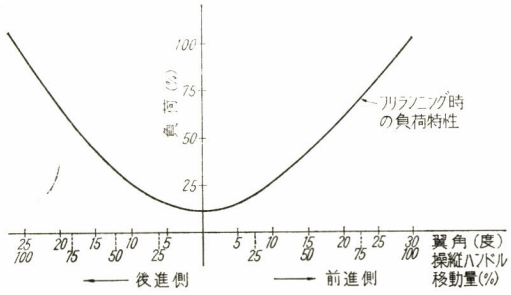

図6　操縦ハンドル位置—翼角—負荷関係曲線

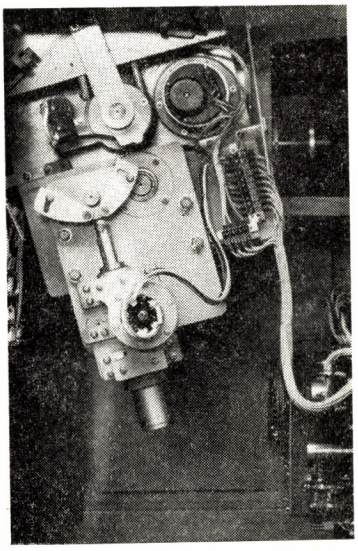

図7　操　縦　ハ　ン　ド　ル

翼角が23°に達するまでに船速が上がらず，過渡状態により機関の負荷が75％をこえれば，差動シンクロCDXが翼角を減少させる側に回転し，実際の翼角設定値を下げて翼角の増加をとめる．船速が出て負荷が軽くなってくると，CDXは翼角増加方向に回転し，翼角を増してゆき，フリーランニング状態の場合は操縦ハンドルと対応する23°まで進んで止まる．もし曳網時または海象条件などの影響で負荷の大きい場合は，負荷が75％になるように自動的に翼角が制御される．逆に追い風を受けて負荷が設定値よりも軽くなったような場合，翼角は図6の関係曲線で与えられた翼角以上には進まないようになっている．

一方，実際の負荷が設定値より大きくなった場合の翼角減少量は，約15°を限度としている．これは，フリーランニング時の100％負荷となる翼角と，ボラードプルの状態で100％負荷となる翼角との差を参考にして決定している．

自動負荷制御系を安定させるために，スピードレートサーボを使用しているが，この負荷偏差と翼角減少速度の比の決定については難解な要素が多く，負荷の検出位置，船体の大きさ，推進軸系の回転能率などによって条件が違ってくる．上記トロール漁船の場合は燃料ラックより負荷を検出し，速度比は1％偏差につき，翼角変化速度2°/sec～0.2°/secの間で調整可能としておいて，本船装備後の試運転結果により，1％偏差について0.5°/sec程度に設定し，良好な結果を得ている．なお過負荷時の翼角減少は速く，回復させるときは遅くするのも制御の安定化に有効である．

本方式の操作ハンドルは前にも記したように，負荷を設定するのであるから，独走時だけでなく，いかなる曳航状態でもハンドルは所定の負荷にセットすればよいわけで，操縦者が曳航状態に応じた負荷と翼角の関係をそのつど判断する必要はない．

4. 実船経験と本方式の適用性

上記各種方式を適用した実船10隻の経験から，下記の点に注意すれば十分満足な制御が可能である．

1. 負荷の確実な信号を検出すること．現在はディーゼル主機の燃料ポンプ管制軸のラック目盛を検出することで十分実用可能である．ただし，ガバナ系の途中から負荷に相当した信号を検出する場合は，制御の過渡現象において，真の負荷を示さないために，自動負荷制御系が不安定になることがある．信頼できるトーションメータにより負荷を検出するのもよい方法である．
2. CDXの駆動速度はあまり早くないほうがよい．ガバナ制御系は非常に鋭敏に応答するので，プロペラピッチの修正動作はある程度遅いほうが自動負荷制御系としては安定する．実際にはスピードレートサーボで適当な速さに調整する．

本方式を，可変ピッチプロペラ操縦装置に組み込んで，可変ピッチプロペラの利点を最大限に利用することが望ましいが，本方式の特に有効な用途として，つぎのような船が考えられる．

1. 曳船，トロール漁船，砕氷船（曳航状態に応じたピッチを判断しなくてもよい．）
2. 主機で発電機などのような一定回転の補機を駆動する船（前後進急速操作時や旋回時に一定回転を保持して過負荷保護を行なう．）

（注）本装置は特許第460156号となっています．