

強制停船用阻止索の最適投射方法

01110110 防衛大学校 *小宮 享 KOMIYA Toru
 01504810 防衛大学校 宝崎隆祐 HOHZAKI Ryusuke

1. 研究の目的

本研究では、昨今頻発している不審船事案に対処するための仮想的な武器(装備品)を考案し、その運用の最適性に関して議論を行う。平成13年に自衛隊法が改正され海上保安庁法に準じて不審船に対して最低限度の武器使用が認められることとなった。しかし、不審船に与える危害を極力低減し、拿捕・臨検する運用要請も考えられることから、殺傷能力の低い武器の開発及び運用方法の検討も必要である。また、不審船事案のような脅威度の低い事態も頻発する傾向にあることから、従来ほとんど検討されてこなかった、こうした低レベルの脅威への対処方法の検討及び分析が必要である。

本研究においては逃避する不審船を追跡している状況を設定し、追跡船舶からロケット推進により索(ロープ)を逃避する不審船の前方に投射して、その逃避行動を阻む装備品を想定した。この装備品により、不審船の逃避領域を制限する効果のほか、索をスクリュウに巻き込ませて機関を停止する効果、あるいはロケットにより不審船の一部を破壊する効果などを期待する。ただし、領域を制限する効果以外の評価は困難であるため、今回の検討では、専ら不審船の逃避可能領域を最小化(=阻止可能面積を最大化)する最適な索の発射要領を計算幾何学及び動的計画法を用いて求める。なお、以下で検討した阻止索の運用研究は、想定した武器自体も含め全くの個人的な想定であり、防衛庁が正式に検討している武器ではないことを予めお断りいたします。

2. モデルの前提

不審船を追跡する艦船(以下、対処艦船と呼ぶ)から逃避する不審船(以下、目標と呼ぶ)への阻止索投射による対処をモデル化するにあたって、以下を仮定する。

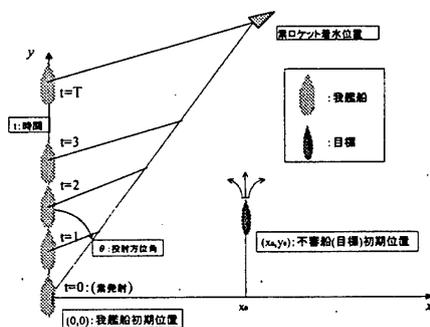


図1 索投射後の対処艦船・目標の移動状況

1. 目標は対処艦艇から逃避し、一方、対処艦艇は目標を追跡している。問題を簡略化するために、対処艦艇は図1のようなy軸に沿った追跡中に索を発射する。発射時の対処艦艇位置を原点(0,0)とし、同

時点の目標位置を (x_0, y_0) とする。

2. 目標は最大速度 V_e 及び最大操舵角(左右対称) ϕ_e [°/sec.] 内で自由に艦船の運動を制御できる。
3. 目標・対処艦船とも双方を視認でき相互の位置を常時把握可能である。目標は対処艦船からの阻止索発射に応じて自由に回避進路を選択できる。
4. 対処艦船の索発射時点から着水までの目標の逃避可能領域の面積により阻止索の運用最適性を評価する。

3. 阻止索による対処のモデル化及びアルゴリズム

2節での前提に従うと、阻止索発射時から着水までの対処艦船及び阻止索、目標の変位は図2のようなイメージとなる。目標が逃避可能な領域は、阻止索を発射しない場合は、目標の最大速度・操舵角の制限から図に示すような扇型領域となるが、発射される阻止索に目標が接触しないよう行動すると、ある程度の逃避領域が制限される。すなわち、阻止索の最適運用基準は、阻止索発射による逃避可能領域を最小化することである。図2-aのような方位角 θ で索を発射した場合、ある程度の逃避領域が制限されるが、図2-bのような大きな方位角で発射すると、斜線部で示すような目標が索に先行して逃避できる領域も発生する。

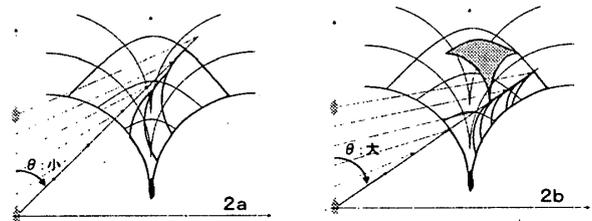


図2 目標の進出可能領域が制限される様子

阻止索による対処は、索発射後のある微小時間 $[t, t+1]$ において目標が進出可能な領域の変化部分と阻止索の変化部分が重なる領域で発生する(図3参照)。この目標と阻止索とが重なる領域では、目標・阻止索双方が接触し、目標は何らかの被害を受けると考える。さらに図4aに示すような各微小時間ごとの微小な阻止領域どおしの間の領域(一例として、図のアで示す領域)は、この領域に逃避する以前に阻止されるため、実際は進出不能であり阻止領域に加える。また、条件により、図4bの斜線部のような阻止領域が生じる場合もあるが、その場合はそれ以前の時間にさかのぼり阻止領域(イ、ウ、エで囲まれる領域)を求めることも必要である。この逆向きプロセスでは操舵角の限界を考慮して阻止領域を算出する。以上をまとめると以下のアルゴリズムとなる。

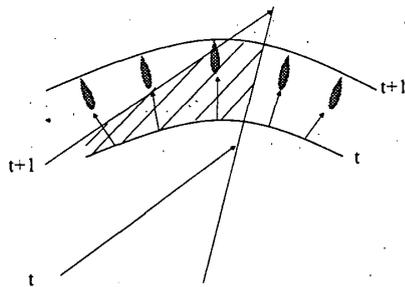


図3 微小時間での阻止索による対処

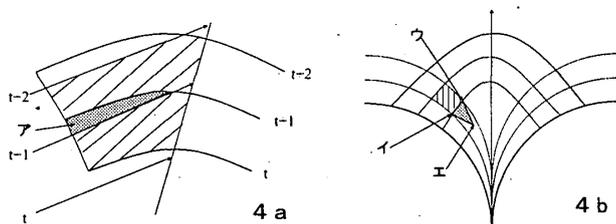


図4 因果関係から阻止される領域

[離散時点アルゴリズム]

- 1 初期値設定：対処艦船位置 $(0, 0)$ 及び速度 V_f , 阻止索ロケット速度 V_p 及び発射方位角 θ_0 , 目標位置 (x_0, y_0) 及び速度 V_e 操舵角 ϕ_e を設定する。
- 2 発射方位角 θ をパラメータとして、以下の 3-8 を繰り返す。
- 3 離散時点 $t = 0, 1, \dots, T$ の目標進出可能領域を単位時間あたりの目標速度ベクトルの合計として得られる上部凸包により求める。同じ時点で、阻止索ロケット-対処艦船間の阻止索線分も求める。
- 4 3 で求めた目標進出面と阻止索線分との位置関係により対処の可否を判定する。
 - 4-(1) 交差しない時：3 に戻る。
 - 4-(2) 交差する時：図3に示すように $[t, t+1]$ で挟まれる領域を阻止可能領域とし、上部凸包を構成する連続する線分と阻止索線分との交点を求め、3 に戻る。
- 5 3, 4 で求まる阻止可能領域の他に図4aのような因果関係から進出不能な領域を構成する端点を求める。
- 6 図4bのような逆向きプロセスによりさらに追加できる阻止可能領域が存在する場合は、その領域の端点を求める。
- 7 4-6 で得られた阻止可能領域をいくつかの凸領域 V_i に区分し、各凸領域を構成する端点 (x_k, y_k) ($k = 1, \dots, n$) をより面積公式を利用して全阻止面積を求める。(各領域の外周を C とする)

$$S_i = \int_{V_i} dx dy = \int_C x dy$$

$$= \sum_{k=1}^n \int_{(x_{k-1}, y_{k-1})}^{(x_k, y_k)} \left(\frac{x_k - x_{k-1}}{y_k - y_{k-1}} y \right) dy$$

$$+ \frac{x_{k-1}y_k - x_k y_{k-1}}{y_k - y_{k-1}}) dy$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (x_k + x_{k-1})(y_k - y_{k-1}) \quad (1)$$

8 $\theta = \theta + \Delta\theta$ として 2 に戻る。

9 阻止可能面積が最大となる発射方位角 θ_{max} を出力し計算終了。

4. 数値例

対処艦船と目標との位置関係が図5のような瞬間に、以下のパラメータ値で数値実験を行った。

- $T = 0, 1, \dots, 10$ [sec.],
- $\theta_0 = 0^\circ, \Delta\theta = 10^\circ$ とし、 $\theta = 0^\circ$ から 90° まで変化、
- $V_f = 20$ [m/sec.], $V_p = 50$ [m/sec.],
- $V_e = 20$ [m/sec.], $\phi_e = 5$ [°/sec.]

実験結果を図6に示す。初期位置によらず方位角 $\theta = 30^\circ$ の場合に阻止面積が最大となることから、このような位置関係で追跡している際には、この方向に阻止索を発射すればよいことがわかる。なお他の設定での実験結果は当日報告する。

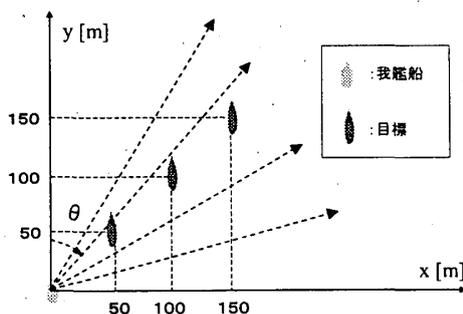


図5 数値例の初期値

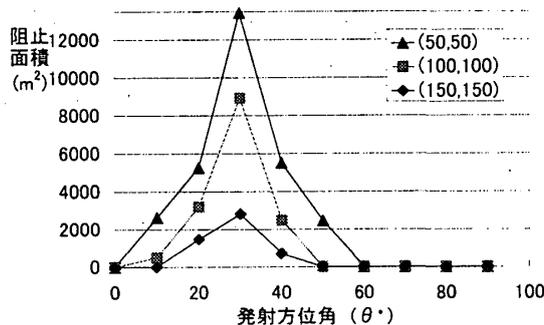


図6 阻止可能面積の発射方位角 θ 依存性

5. まとめ

本研究では、不審船対処のための仮想的な装備品を考案し、簡単な数値例により、最適な運用方法を求めた。今後、不審船事案のような低脅威度の紛争事案が増加傾向にあることを考慮すると、今回のような通常の武器体系にない低殺傷性の武器の構想研究・運用研究が必要と思われる。本研究は幾何学的に効果を発揮する他の武器、例えば放水銃やネットガン、暴走族対処用のゲート等の運用の最適化にも応用できる可能性がある。