

マグロ魚肉の変色防止のための中枢神経破壊システム

矢田 貞美, 木村 修平, 藤田 清

(1998 年 4 月 8 日受付)

System for Destruction of the Central Nervous System through Insertion of a Steel Wire for Preventing Color Change in Tuna Meat

Sadami Yada,*¹ Syuuhei Kimura,*¹ and Kiyoshi Fujita*²

Authors first examined the morphology of axial skeleton of the yellowfin tuna to develop the experimental equipment for destroying the central nervous system, and then examined the work ability of this equipment. The results are as follows.

A stainless wire rope of three millimeters in diameter is the most efficient for destroying the central nerve for insertion into the vertebral foramen and removal using a winding drum as in the second experimental equipment.

Efficiency of destruction of the central nerve by the second experimental equipment is improved by increasing velocity by raising the output voltage.

Total resistance R_t for destroying the central nerve is in proportion to the diameter of the steel wire, fish size, diameter of the spinal cord, the total time passed while inserting steel wire, the level of viscosity of mucus in the cranium and the vertebral foramen. Fish size is the strongest factor.

キーワード：マグロ，脊椎骨，椎孔，中枢神経破壊，中枢神経破壊抵抗

遠洋マグロ漁業においては，漁獲魚の鮮度保持を目的として「マグロの血抜き」作業が行われている。^{1,2)} 血抜きを行わないと，内臓の腐敗と血液の変色により肉の変色が生じて鮮度が低下する。しかし，単に血抜きした状態で冷凍保存すると，脳と脊髄からなる中枢神経の働きにより筋肉収縮運動のエネルギー物質であるアデノシン三リン酸（ATP）が分泌されて魚体の自己消化が促進され，冷凍中に魚肉の赤身が不均一に変色する。^{2,3)}

さらに，冷凍中におこる赤身の不均一な変色の防止方法として，漁獲したブリ，ハマチ等の中枢神経を破壊する魚類刺殺装置，⁴⁾ 魚体の大小に拘らず手作業で能率的に絞める活魚絞め処理装置⁵⁾及び刺し刃や魚収容室等が微細な範囲で調節できる魚絞め装置⁶⁻⁸⁾等が研究されている。また，マグロの中枢神経の破壊方法として，漁獲後に切断した尾部から脊椎骨の椎孔内に海水を流入させ中枢神経を破壊する器具⁹⁾及び両眼間の直上の白紋に切込みを入れて松果体窓を露呈させ，同所から鋼線を挿入して頭蓋骨と脊椎骨の椎孔内を貫通させることにより中枢神経を破壊するための器具^{1,2,11,12)}等が研究されてい

る。この方法で中枢神経を破壊すると，ATP の消費量が抑制され，中枢神経の働きによる自己消化が抑制される。⁹⁾ この抑制により，冷凍中の魚肉の赤身の部分の不均一な変色が防止されるので，魚価決定の判断基準となる血合い斑の少ない均一な赤色となるので，魚肉の鮮度保持に中枢神経破壊が有効である。¹⁻³⁾

しかし，血抜きと中枢神経の破壊作業には多くの問題点が指摘されている。従来，これらの作業は漁獲後血抜きをしながら椎孔内に鋼線を貫通させて脳と脊髄の中枢神経を破壊する方法と，血抜きや中枢神経の破壊をせずに漁獲後，直ちに冷凍庫に保管する方法の，2通りの方法で処理されてきた。^{1,12)} しかし，これらの作業は何れも経験と勘を要するため，漁労作業の省人化の観点から本作業の自動化の要望が高い。

中枢神経破壊方法は次の作業順で行われる（Fig. 1）。1) マグロの両眼間隔の中央にある白紋の位置①にノミで切り込みを入れて松果体窓を露呈させる，2) 同位置①から中枢神経破壊用鋼線を挿入し，脳②に差し込んで前後左右に動かして脳を破壊する（Fig. 1A），3) 鋼線を

*¹ 東京水産大学海洋生産学科海洋システム学講座（Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan）.

*² 東京水産大学資源育成学科水産生物学講座（Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Konan Minato, Tokyo 108-8477, Japan）.

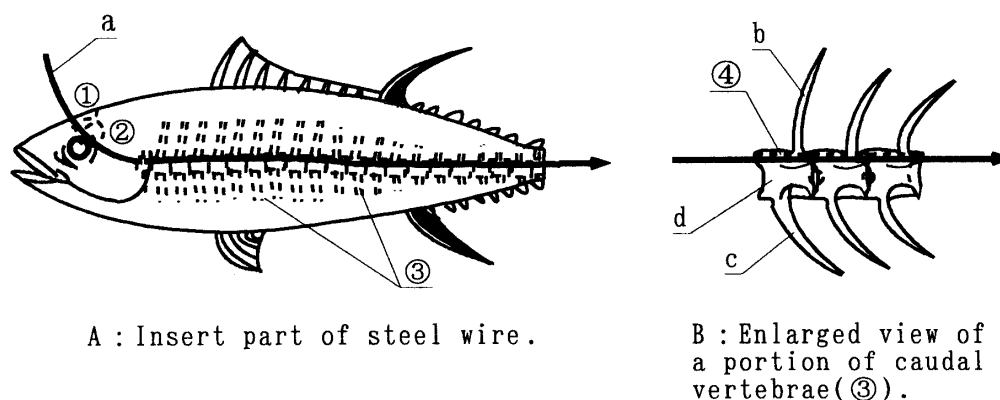


Fig. 1. Lateral view of yellowfin tuna showing the method of destroying the central nervous system.

①, white mark and pineal window; ②, brain; ③, vertebrae; ④, vertebral foramen; a, steel wire; b, neural spine; c, hemal spine; d, centrum.

挿入して脊椎骨③の椎孔④内を貫通させて脊髄を破壊する等の作業順で行われる (Fig. 1B)。この中枢神経破壊に使用される代表的器具「T 式」¹⁾は、銅線の周りに弾力性に富むステンレス線を螺旋状に巻付けた構造であり、挿入時のマグロの暴れにも耐えることができるが、ピアノ線や銅線等では挿入時のマグロの暴れに対する対応性と耐久性に問題がある。

本報では、以上のような背景に基づき、先ずマグロの中枢神経の破壊に必要な部位の形態的な調査を行い、次に中枢神経を破壊する簡易装置を試作し、この作業性能について検討した。

実験材料と方法

材料 量販店で解体されたキハダ *Thunnus albacares* 1 尾 (全長 122 cm, 体長 93 cm, 体高 24 cm, 体重 22 kg) を用い、骨格、第 2~4 腹椎 (頭部の方から 2, 3, 4 番目の腹椎)、及び第 9~11 尾椎 (頭部の方から 9, 10, 11 番目の尾椎) の構造について観察した。骨格の名称は岡村,¹³⁾ 須田,¹⁶⁾ 落合¹⁷⁾ 及び石川¹⁸⁾ に従った。なお、後述の試作装置による実際の中枢神経の破壊実験の実施は今後の課題である。

鋼線 中枢神経破壊用鋼線の永久曲がり量を調査するため、線径や線構造の異なる長さ 2 m の各種ステンレスピアノ線、長さ 1.5 m のステンレス及びビニール被覆ワイヤロープなど¹⁴⁾ 計 13 種を供試した。Table 1 に供試した中枢神経破壊用の鋼線の線径及び単位長さ当たりの重量を、またこれらの内特殊構造のステンレス及びビニール被覆ワイヤロープの概略を Fig. 2 に示す。

中枢神経破壊装置の試作 1 号機 本装置は、ステンレス板と塩化ビニルの各ギヤで構成され、重量は約 2.4 kg で、大きさは縦 6×横 36×高さ 14 cm である (Fig. 3)。構造は、2 個の鋼線挿入ギヤ c 及び鋼線送出しギヤ d がそれぞれ対をなし、それぞれのギヤがタイミングベ

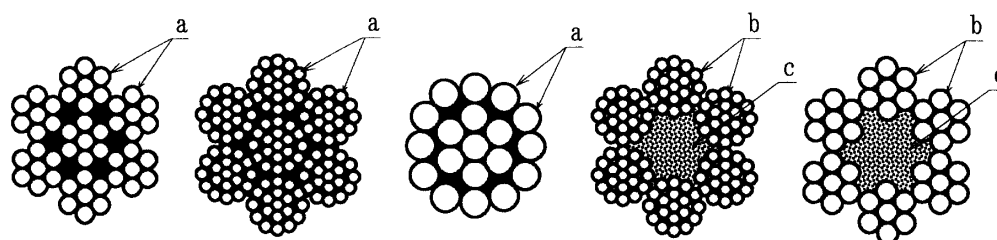
Table 1. Diameter and weight of unit length of test steel wires

Kinds of wire	Diameter (mm)	Weight of unit length (g/m)
P-1.5	1.5	18.3
P-2.0	2.0	32.9
P-3.0	3.0	55.9
P-4.0	4.0	98.7
S-7×7-4.0	4.0	68.0
S-7×7-3.0	3.0	38.1
S-7×7-2.5	2.5	27.0
S-7×19-4.0	4.0	68.3
S-7×19-3.0	3.0	39.0
S-1×19-3.0	3.0	44.9
S-1×19-2.5	2.5	35.3
V-6×19 G/O-4.0	4.0	56.1
V-6×7 G/O-4.0	4.0	59.5

P: stainless steel piano wire (SWP-B), S: stainless steel wire rope (SUS304-SB), V: vinyl clothed wire rope (SUZ), G/O: zinc plating/common twist (twist direction of rope and twist direction of strand is opposite), S-7×7: 7-ply of 7 strand, S-7×19: 7-ply of 19 strand, S-1×19: 1-ply of 19 strand, V-6×19 G/O: center part is fiber (nylon) and 6-ply of 19 strand, V-6×7 G/O: center part is fiber (nylon) and 6-ply of 7 strand¹⁷⁾ (refer to Fig. 3). Stainless steel and vinyl clothed wire rope is all common twist.

ルト b で、また駆動ギヤ g と隣接した連結ギヤ e が上側の鋼線挿入ギヤ c とタイミングベルト a で連結されている。駆動方法は、駆動ギヤ g を交流モータ (トルク 0.981 N·m, 電機子抵抗 17 Ω, 消費電力 70 W, 回転数制御範囲 0~540 rpm) で回転させて、2 個の鋼線挿入ギヤ c でステンレスワイヤロープ (S-1×19-3.0) を挟み、2 個の鋼線送出しギヤ d で繰出す。

中枢神経破壊装置の試作 2 号機 本装置は、アルミ板、塩化ビニル製の各ギヤ及び巻取りドラム、減速機付



A : S-7×7. B : S-7×19. C : S-1×19. D : V-6×19 G/O. E : V-6×7 G/O.

Fig. 2. Structures of stainless steel and vinyl clothed wire ropes.

a, stainless steel; b, zinc plating; c, fiber (nylon); S, stainless steel wire rope; V, vinyl clothed wire rope.
Kinds of wire follow Table 1.

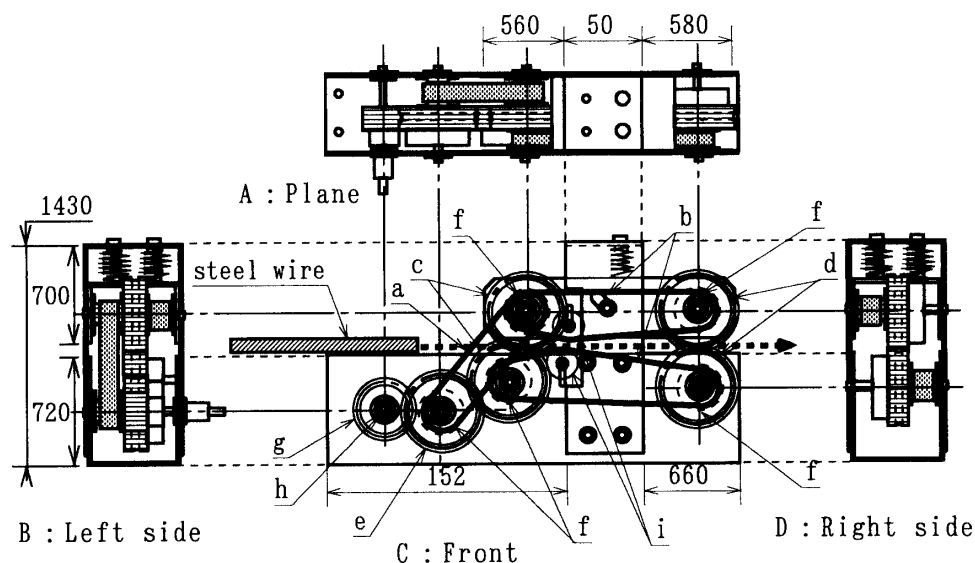


Fig. 3. First experimental equipment for destroying central nervous system.

a, timing belt (234 P3 M10); b, timing belt (330 P3 M10); c, steel wire insert gear (PS-1.5-30); d, steel wire driving gear (PS-1.5-30); e, connection gear (PS-1.5-30); f, timing pulley (25 P3 M10); g, driving gear (PS-1.5-15); h, driving shaft; i, timing pulley (10 P3 M10). Display method of dimension of parts is the following: timing belt (number, belt length; P, pin space; M, pin length); gear (PS-gear width-number of teeth), timing pulley (number, diameter; P, pin space; M, pin length).

直流モータ d (電機子抵抗 5.5 Ω, 最大出力 26.2 W, 回転定数 233 rpm/V, トルク定数 41.1 m・Nm/A, 減速率 2.3%) 及びステンレスワイヤロープ a (S-1×19-3.0) で構成されており, 重量は約 2.6 kg で, 大きさは縦 14×横 22×高さ 17 cm である (Fig. 4)。構造は, 巻取りドラム h に巻取られたステンレスワイヤロープ a が, 駆動送出しギヤ g と従動送出しギヤ f に挟まれている。巻取りドラム h と従動送出しギヤ f はタイミングベルト i で同期駆動されている。駆動方法は, 駆動送出しギヤ g を減速機付直流モータ d で回転させることにより, 従動送出しギヤ f 及び巻取りドラム h が回転し, ステンレスワイヤロープ a を繰出す。入力端子から交流電圧 100~200 V を入力し, 出力端子から直流電圧 24 V を出力する装置スイッチングパワーサプライ S82J は, 出力電圧調整トリマにより ±10% の出力電圧を調整でき

る。

なお, 装置化の際, 小型ドラムに鋼線の巻取りと繰出しを適宜に繰返すことにより中枢神経を破壊することを考えた。その際, 鋼線に求められる特性として, 永久曲がり量が少ないことが絶対条件であり, 鋼線の永久曲がりを調査するため, 鋼線の巻取り径 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 及び 350 mm のアルミニウム缶を供試した。

実験方法 中枢神経破壊用の鋼線のドラムへ巻取り後, 生じる本鋼線の最大永久曲り量 B_m を以下の方法で精査した。各径のアルミニウム缶に鋼線を巻取り, 鋼線の交差する個所に油性マジックで印を付け (Fig. 5A), 次に印加箇所 2 点の線端間距離 L を, また最大永久曲り量 B_m を計測した (Fig. 5B)。

交流の出力電圧を 10 V 間隔で 20 から 70 V まで, 試

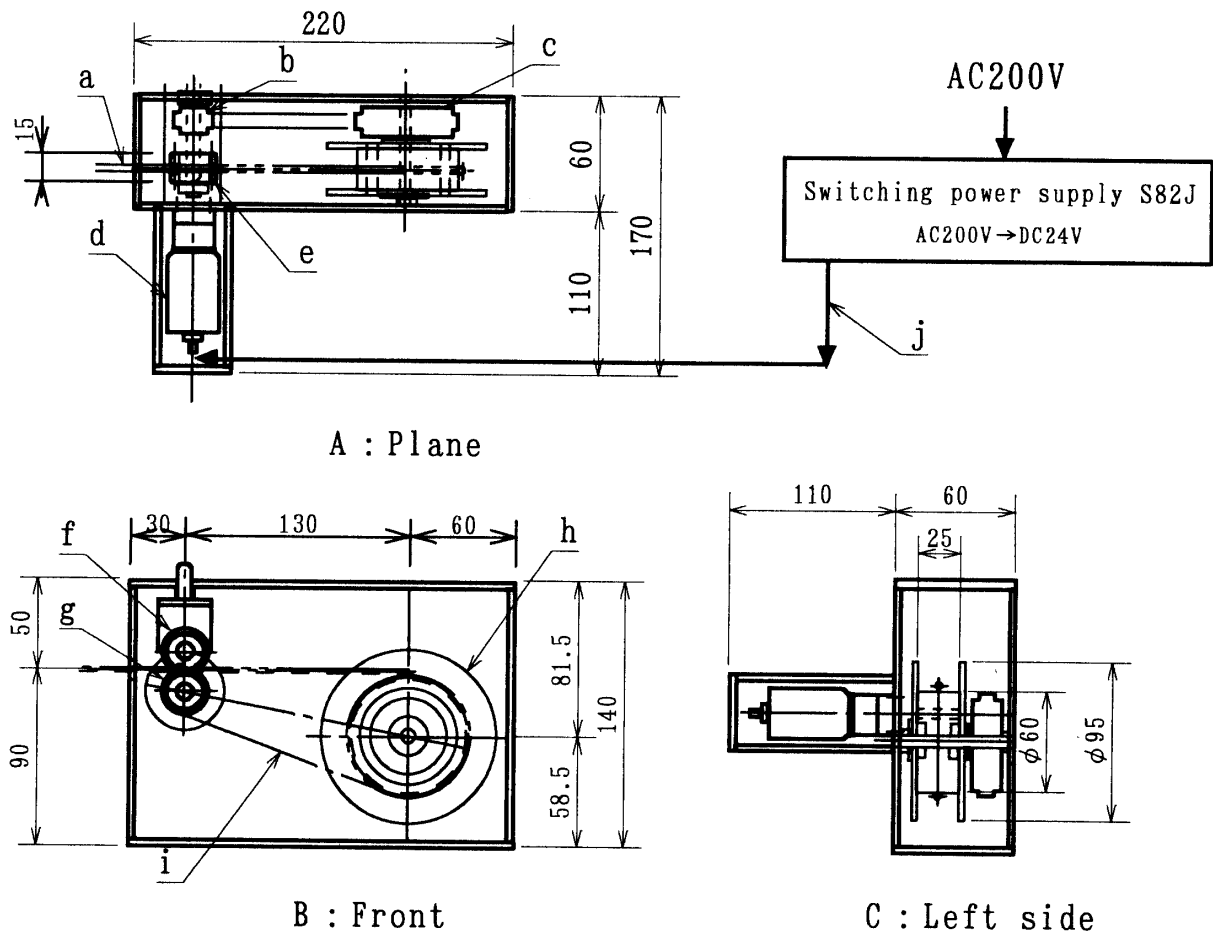
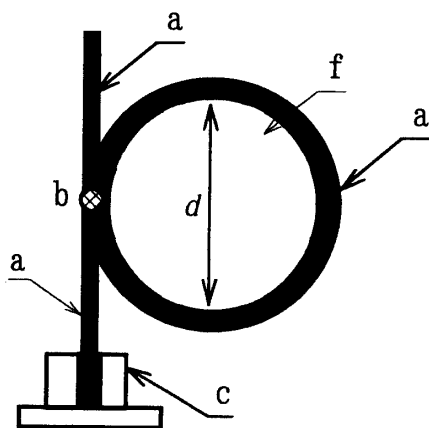
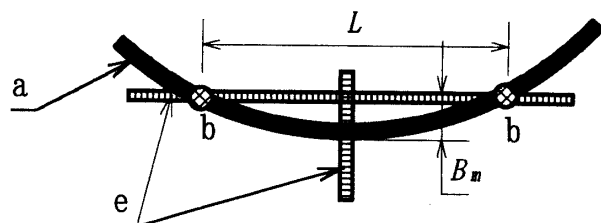


Fig. 4. Second experimental equipment for destroying central nervous system (wire driving equipment TZ-2 type).

a, steel wire for destroying central nerve; b, timing pulley (22 P3 M6); c, timing pulley (60 P3 M6); d, motor with reducer; e, spur gear (PS-1.5-16); f, driven gear (PS-1.5-16); g, driving gear (PS-1.5-16); h, winding drum; i, timing belt (387 P3 M6); j, twin core cable. Display method of dimension of parts is the following: timing belt (number, belt length; P, pin space; M, pin length); gear (PS-gear width-number of teeth); timing pulley (number, diameter; P, pin space; M, pin length).



A: Method of detection of permanent strain



B: Method of measurement of permanent strain

Fig. 5. Method of measuring permanent strain on winding diameter.

a, steel wire; b, check point; c, jack; e, square; f, aluminium pipe; d, winding diameter (mm); L, distance for line ends (mm); B, maximum permanent bend (mm).

作1号機を駆動させ、ステンレスワイヤロープ (S-1×19-3.0) の単位長さ当たりの繰出し時間及び駆動ギヤfの回転数を計測し、次式により仕事量 W_{1d} 及び鋼線の繰出し速度 V_{1d} を求めた。¹⁸⁾

$$W_{1d} = V_1 \times I \times t = V_1 \times V_1 / R \times t, V_{1d} = d / t$$

但し, W_{1d} : 仕事量 (J), V_1 : 出力電圧 (V), I : 消費電流 (A), V_{1d} : 鋼線の繰出し速度 (m/s), d : 繰出し距離 (m), t : 駆動時間 (s), モータの電機子抵抗 R : 17 Ω である。

試作2号機では、従動送出しギヤを歯数の少ないもの (PS-1.5-16) と多いもの (PS-1.5-20) を交換供試し、2 V 間隔で 20 から 28 V まで出力電圧 (直流) を変動させて本装置を駆動して、ステンレスワイヤロープ a の単位長さ当たりの繰出し時間及び駆動送出しギヤ g の回転数を計測した。回転定数 Kn が 233 rpm/V のモータの電機子抵抗値 R は 5.5 Ω であり、仕事量、鋼線の繰出し速度、モータの回転数及び減速機付モータの減速率を次式により求めた。¹⁵⁾

$$W_{2d} = V_2 \times I \times t = V_2 \times V_2 / R \times t,$$

$$V_{2d} = d / t, n_1 = V_2 \times Kn, r = n_2 / n_1$$

但し, W_{2d} : 仕事量 (J), V_2 : 出力電圧 (V), I : 消費電流 (A), V_{2d} : 鋼線の繰出し速度 (m/s), d : 駆動距離 (m), t : 駆動時間 (s), n_1 : モータ回転数 (rpm), r : 減速機付モータの減速率 (%), n_2 : 駆動繰出しギヤの回転数 (rpm) である。

結果及び考察

中枢神経の破壊時に必要な形態部位 松果体窓は両眼間の神経頭蓋の背面に存在する橢円形状の穴でその直下に脳が存在する (Fig. 6)。中枢神経の破壊時に鋼線の入り口となる松果体窓は橢円形を呈し、長径 20 mm, 短径 10 mm 程度であった。Fig. 7 に脊椎骨を示す。第4腹椎には、椎体の背側に神経弓門に囲まれた椎孔があり、この中に脊髄が存在する。神経弓門から上方に神経棘が斜め尾部方向に弧を描いて高さ 35 mm 程度突出し、椎体の左右、腹側面にそれぞれ1本の側突起が左右に開いて直下に 10 mm 程度突出する (Fig. 7A)。椎体側面の形状は、ほぼ縦 18 mm, 横 20 mm で、椎体の前・後面の中心が 7.5 mm 窪んだ径 18 mm の円形状を呈し、それぞれの椎体間の窪みにはゲル状の脊索が存在する (Fig. 7A, B)。

第11尾椎では、椎体の背面にある椎孔は神経弓門に囲まれ、その神経弓門から上方に神経棘が斜め尾部方向に弧を描いて高さ 25 mm 程度突出する。腹面にある血管孔は血管弓門に囲まれ、その血管弓門から下方に血管棘が斜め尾部方向に弧を描いて高さ約 22 mm 突出する (Fig. 7D)。椎体側面の形状は、ほぼ縦 23 mm, 横 33 mm で、椎体の前・後面は中心部が 13.5 mm 窪んだ径 23 mm の円形状をしており、それぞれの椎体間の窪みにゲル状の脊索が存在する (Fig. 7C)。幅 5 mm 程度の血管孔の中に 4 mm 径の後主静脈が走る。中枢神経破壊時に鋼線を貫通させる椎孔の直径は 5 mm 程度であ

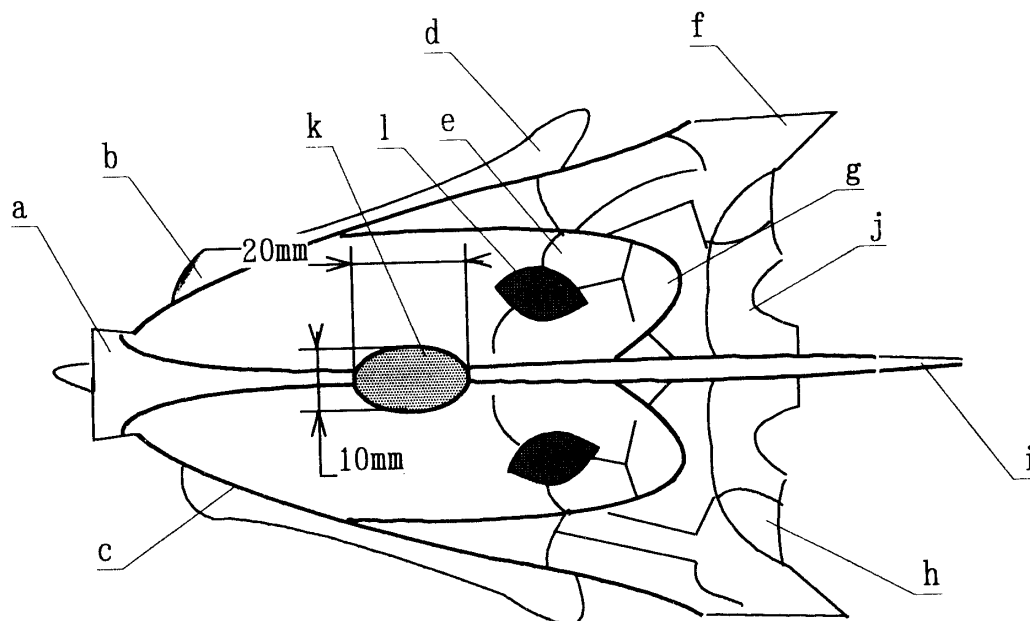


Fig. 6. Dorsal view of cranium and pineal window of yellowfin tuna.

a, ethmoid; b, lateral ethmoid; c, prefrontal; d, sphenotic; e, parietal; f, pterotic; g, epiotic; h, intercalar; i, supraoccipital; j, exoccipital; k, pineal window; l, parietal foramen.

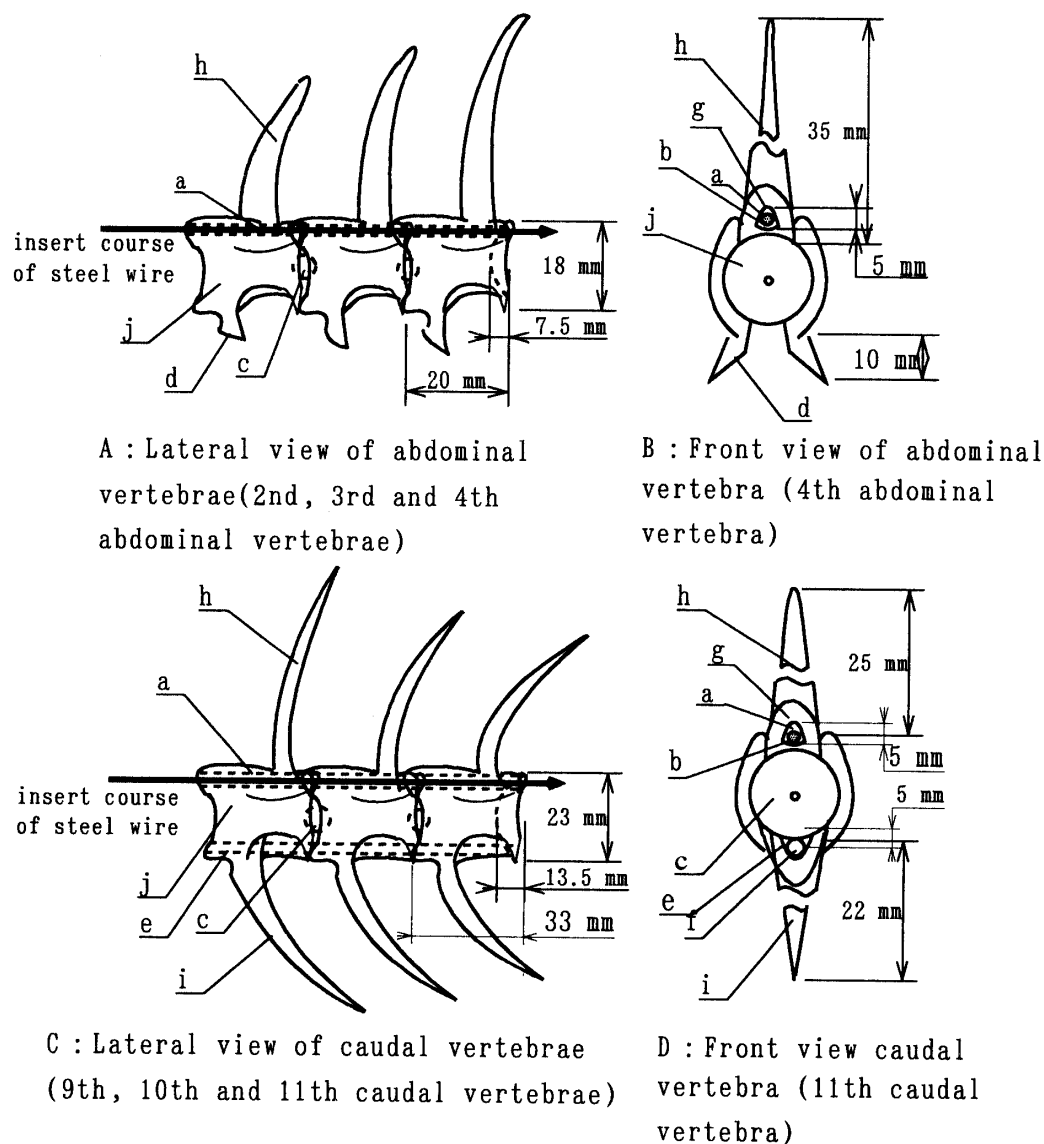


Fig. 7. Vertebrae of yellowfin tuna.

a, vertebral foramen; b, spinal cord; c, notochord; d, parapophysis; e, hemal arch; f, posterior cardinal vein; g, neural arch; h, neural spine; i, hemal spine; j, centrum.

り、この中に脊髄が通っている (Fig. 7D)。

中枢神経破壊用鋼線の特性 Fig. 8 及び Fig. 9 に巻取り径と線端間距離 L 及び最大永久曲り量 B_m の関係を示す。巻取り径を 50 mm 間隔で 150 から 350 mm まで巻取ると、線端間距離 L はステンレスピアノ線では巻取り径の大径のものが広くて小径のものが狭い。例えば、線種 P-1.5, P-2.0, P-3.0, P-4.0 の順で広く、またステンレス及びビニール被覆ワイヤロープは、巻取り径が 150 mm 以下では各線種とも同程度であった。最大永久曲り量 B_m は、50 mm 間隔で巻取り径を 150 から 350 mm まで巻取ると、ステンレスピアノ線では大径のものが大きく、例えば線種 P-1.5, P-2.0, P-3.0, P-4.0 の順で大きかった。また、巻取り径 150 mm 以下では、ステンレスワイヤロープがビニール被覆ワイヤロープよ

りやや大きく、各線種中で S-7×7 が最も大きく、例えば線種 S-7×19, S-1×19, S-7×7 の順で大きかった。ビニール被覆ワイヤロープでは、線種 V-6×19 G/0-4.0 の方が V-6×7 G/0-4.0 より大きかった。また、ステンレスピアノ線 P-1.5 及び P-2.0 は巻取り径が大きい場合には永久曲りは生じなかったが、小さい場合には生じた。ステンレスワイヤロープ S-7×19-3.0 及び V-6×7 G/0-4.0 は全巻取り径が小さくても線材が柔軟性に富むため永久曲りは生じなかった。

後述するように、中枢神経の破壊用鋼線は、中枢神経破壊装置の巻取りドラムへ巻取り後に最大永久曲り量 B_m が約 50 mm 以上になると (試作 2 号機参照) 先端が曲がるから挿入の位置決めができなくなり繰出し後の取扱いが困難となる。中枢神経破壊時の椎孔 (直径約

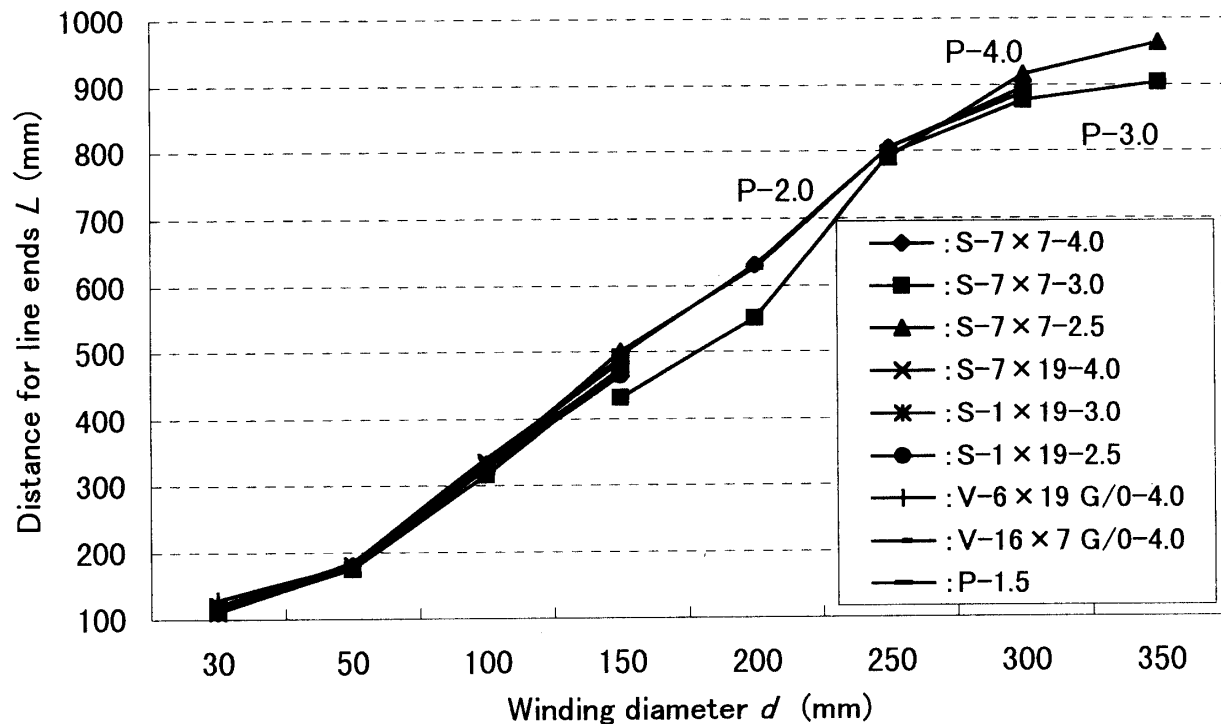


Fig. 8. Relationship between winding diameter and distance for line ends L .
Kinds of wire are shown in table 1.

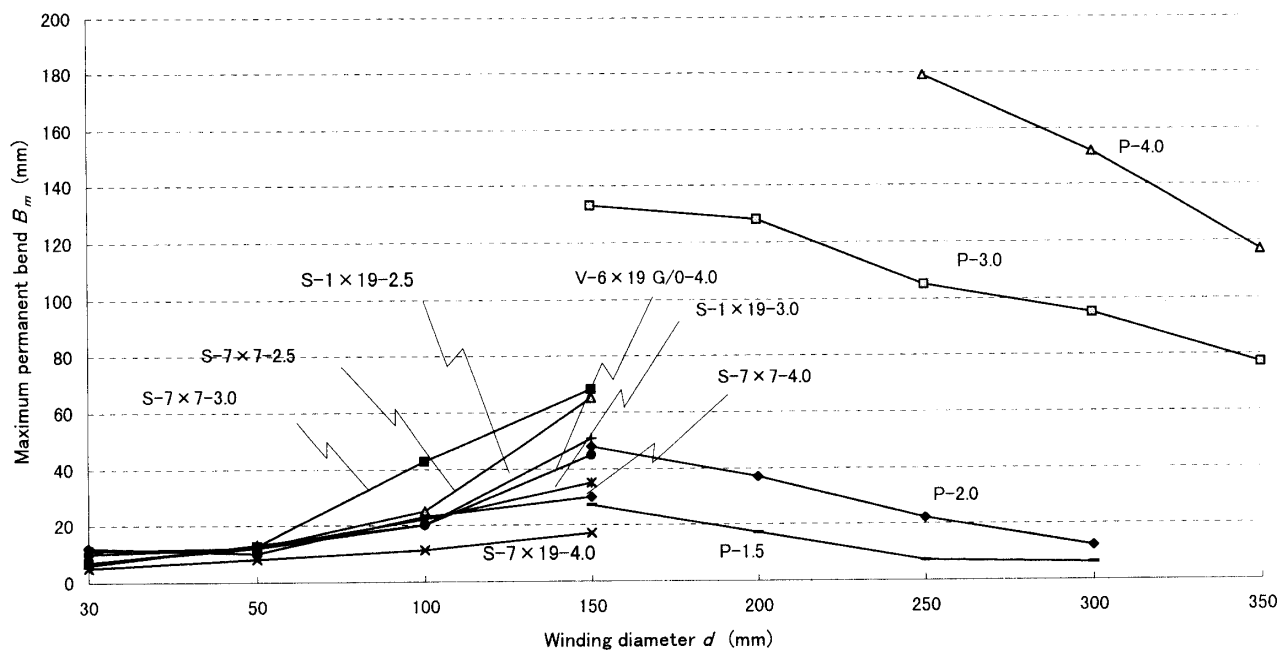


Fig. 9. Relationship between winding diameter and maximum permanent bend B_m .
Kinds of wire are shown in table 1.

5.0 mm) 内への挿入を考慮に入れると、線径は 4.0 mm 程度未満が好適と考えられる。しかし、巻き取りドラム径が小さいほど本装置を小型化できるので、巻取り径 150 mm 以下における最大永久曲り量 B_m が約 40 mm 以下で、線径が 3.0 mm 程度のものが好適と考えられる。

したがって、以上の条件を満たす鋼線としては、ステンレスワイヤロープ (S-1 $\times$ 19-3.0) が好適と推定される。

中枢神経破壊装置の鋼線の繰出し速度及び仕事量
Fig. 10 に試作 1 号機の出力電圧と繰出し速度及び仕事量の関係を示す。繰出し速度 V_{1d} 及び仕事量 W_{1d} は次

式で示され、それぞれは出力電圧（交流） V_1 に比例する。

$$V_{1d} = 0.0023 V_1^2 + 0.012 V_1 + 0.021 \quad (R=0.990)$$

$$W_{1d} = 13.393 V_1^2 + 159.25 V_1 + 570.86 \quad (R=0.927)$$

但し、 V_{1d} ：鋼線の繰出し速度（m/s）、 V_1 ：出力電圧（V）、 W_{1d} ：仕事量（J）である。

繰出し速度 V_{1d} は出力電圧 70 V（モータの回転数 512 rpm）近傍で勾配が低下した。これは、供試した交流モータの回転数の制御範囲が 0～540 rpm であるためと考えられ、駆動時の出力電圧は 20～60 V に制御する必要がある。

次に、Fig. 11 に試作 2 号機の中枢神経の破壊装置の

Sheet1 グラフ 1

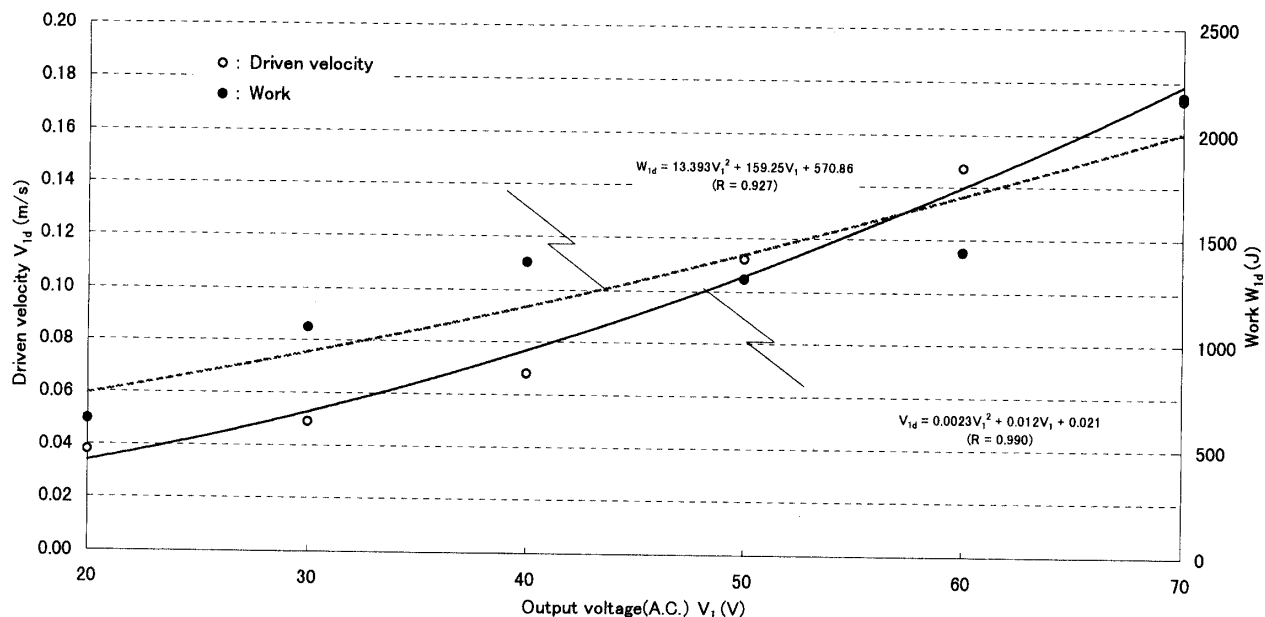


Fig. 10. Relationship between output voltage and, either driven velocity or work.
Steel wire: S-1×19-3.0.

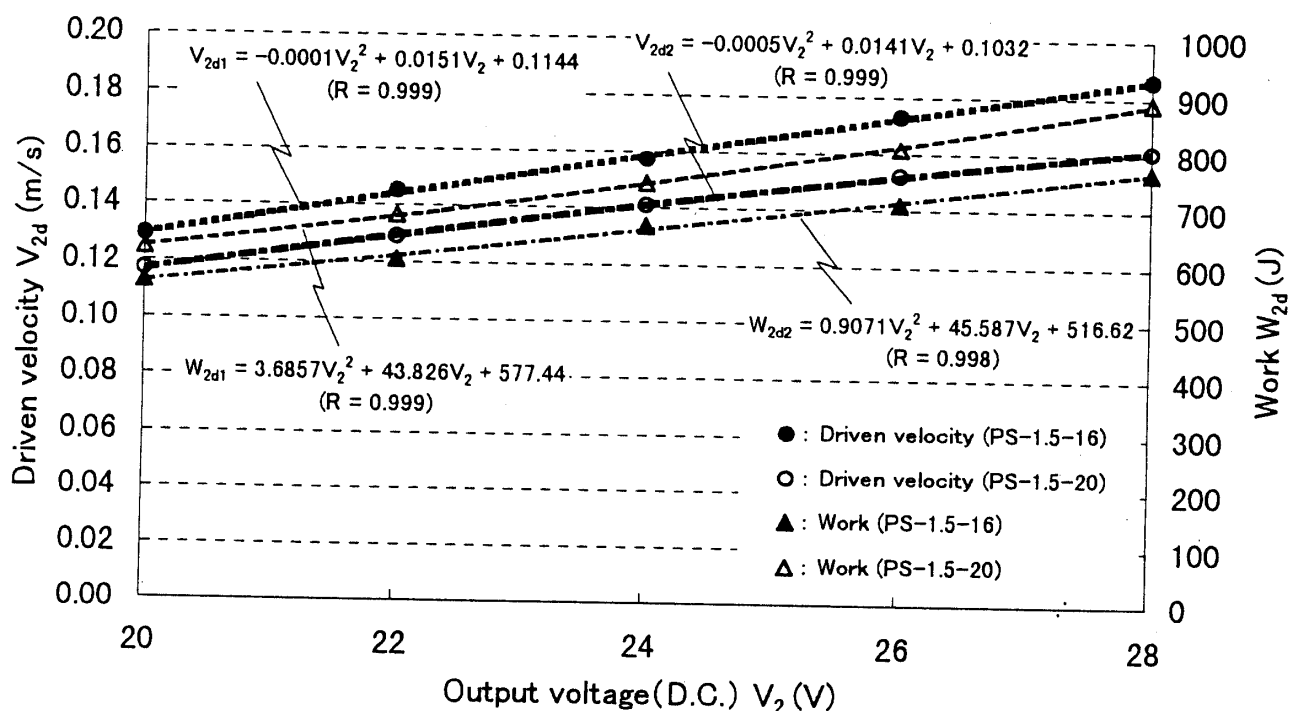


Fig. 11. Relationship between output voltage and, either driven velocity or work.
Steel wire: S-1×19-3.0.

出力電圧と繰出し速度, 仕事量等の関係を示す。歯数の少ない従動送出しギヤ PS-1.5-16 及び歯数の多い PS-1.5-20 のそれぞれの繰出し速度 V_{2d1} , V_{2d2} , 及びそれぞれの仕事量 W_{2d1} , W_{2d2} は次式で示され, それぞれ出力電圧 V_2 に比例する。

$$V_{2d1} = -0.0001 V_2^2 + 0.0151 V_2 + 0.1144 (R=0.999)$$

$$V_{2d2} = -0.0005 V_2^2 + 0.0141 V_2 + 0.1032 (R=0.999)$$

$$W_{2d1} = 3.685 V_2^2 + 43.826 V_2 + 577.44 (R=0.999)$$

$$W_{2d2} = 0.907 V_2^2 + 45.58 V_2 + 516.62 (R=0.998)$$

但し, V_{2d1} : 従動送出しギヤ (PS-1.5-16) の繰出し速度 (m/s), V_{2d2} : 歯数に多い従動送出しギヤ (PS-

1.5-20) の繰出し速度 (m/s), W_{2d1} : 歯数の少ない従動送出しギヤ (PS-1.5-16) の仕事量 (J), W_{2d2} : 従動送出しギヤ (PS-1.5-20) の仕事量 (J), V_2 : 直流の出力電圧 (V) である。

以上より, 鋼線の繰出し速度は, 従動送出しギヤの歯数が少ないものが多いものより速かった。これは歯数の少ないギヤが多いものよりギヤピッチが小さいので, 鋼線にギヤの繰出し力が均等にかかる結果, 見掛けのスリップが低減するためと考えられる。

椎孔への鋼線挿入による中枢神経の破壊機構 Fig. 12 に椎孔への鋼線挿入による中枢神経の破壊機構のモ

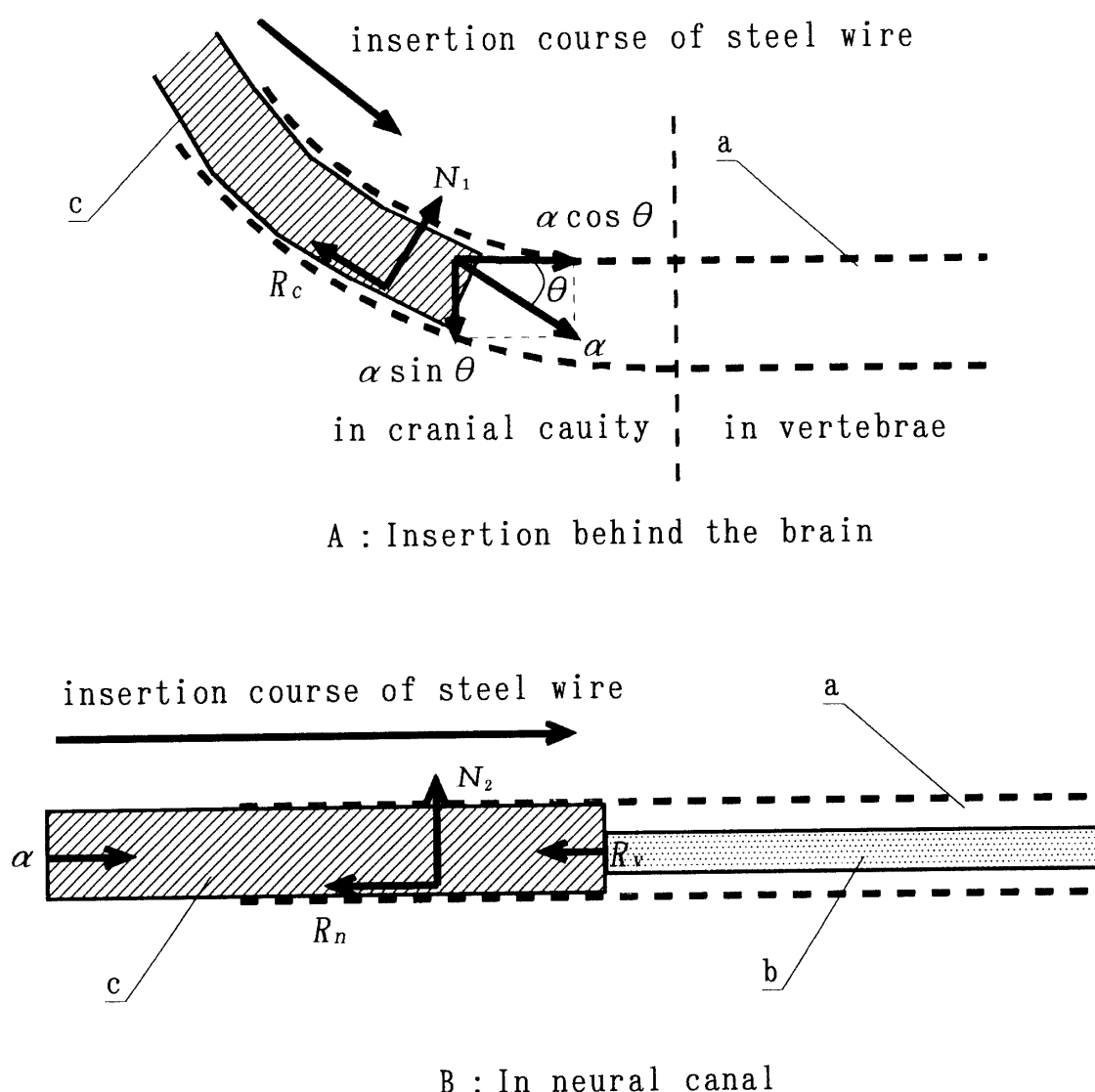


Fig. 12. Model of destruction mechanism of central nervous system by inserting steel wire into vertebral foramen.

a, vertebral foramen; b, spinal cord; c, steel wire; R_c , total frictional resistance against steel wire in cranial cavity (N); R_n , total frictional resistance against steel wire in neural canal (N); R_v , total resistance against steel wire on extrusion of spinal cord (N); N_1 , vertical resistance between steel wire and cranial cavity (N); N_2 , vertical resistance between steel wire and vertebral foramen (N); α , driving power of steel wire of equipment in cranial cavity and vertebral foramen (N); θ , insert angle of steel wire in cranium (rad). Dotted lines show insert part of steel wire in cranial cavity and vertebral foramen.

デルを示す。鋼線挿入による中枢神経の破壊工程では、先ず鋼線は、脳の破壊後に頭蓋骨内に挿入されて摩擦抵抗 $R_c(N)$ を受け (Fig. 12A), 次に椎孔内に挿入されて摩擦抵抗 $R_n(N)$ 及び脊髄押出し抵抗 $R_v(N)$ を受けることになる (Fig. 12B)。

すなわち、中枢神経破壊時に鋼線にかかる全抵抗 $R_t(N)$ は、頭蓋骨内で鋼線にかかる全摩擦抵抗 $R_c(N)$, 椎孔内で鋼線にかかる全摩擦抵抗 $R_n(N)$, 脊髄押出し時に鋼線にかかる全抵抗 $R_v(N)$ 及び頭蓋骨及び椎孔内で鋼線にかかる全粘性抵抗 $R_l(N)$ の合計であり、これら各抵抗について検討する。

先ず、脳以外の頭蓋骨内において、鋼線にかかる全摩擦抵抗 $R_c(N)$ は、次式(1)で示される。

$$\left. \begin{aligned} R_c &= \mu'_1 \cdot N_1 \cdot \int_0^{T_1} (l_{1t} \cdot b_1 \pi) dt \\ &= \mu'_1 (x_1 - \alpha \cdot \sin \theta) \cdot \int_0^{T_1} (l_{1t} \cdot b_1 \pi) dt (N) \\ &\quad \left(0 \leq \int_0^{T_1} (l_{1t}) dt \leq L \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

但し、 μ'_1 : 鋼線と頭蓋骨間の動摩擦係数, N_1 : 頭蓋骨内壁に対する鋼線の垂直抗力 (N), l_{1t} : 鋼線挿入開始から t 秒後における頭蓋骨内挿入距離 (m), t : 鋼線挿入開始からの経過時間 (s), b_1 : 鋼線径 (mm), x_1 : 鋼線の単位長さ当たりの重量 (g/m), α : 本装置が頭蓋骨内に鋼線を繰出す力 (N), θ : 鋼線の頭蓋骨内挿入角度 (rad), L : 頭蓋骨内における鋼線の全挿入距離 (m), T_1 : 頭蓋骨内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s) である。

(1)式は、中枢神経の破壊時における鋼線の頭蓋骨内挿入時における全摩擦抵抗が、鋼線と頭蓋骨間の動摩擦係数 μ'_1 , 鋼線径 b_1 , 頭蓋骨内における鋼線挿入の全経過時間 T_1 及び頭蓋骨内における鋼線の全挿入距離 L に正比例する、すなわち主に鋼線径及び魚体長に正比例することを示している。

次に、椎孔内において、鋼線にかかる全摩擦抵抗 $R_n(N)$ は次式(2)で示される。

$$\left. \begin{aligned} R_n &= \mu'_2 \cdot N_2 \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_1 \pi) dt \\ &= \mu'_2 (x_1 - \alpha) \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_1 \pi) dt (N) \\ &\quad \left(0 \leq \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt \leq \sum_{k=1}^n L_k \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

但し、 μ'_2 : 鋼線と椎孔間の動摩擦係数, N_2 : 椎孔内壁に対する鋼線の垂直抗力 (N), l_{2t} : 鋼線挿入開始から t 秒後における椎孔内挿入距離 (m), t : 鋼線挿入開始からの経過時間 (s), b_1 : 鋼線径 (mm), x_1 : 鋼線の単位長さ当たりの重量 (g/m), α : 本装置が頭蓋骨内に鋼線

を繰出す力 (N), T_1 : 頭蓋骨内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), T_2 : 頭蓋骨及び脊椎骨椎孔内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), L_n : 脊椎骨 n 番目の長さ (m) である。

(2)式は、中枢神経の破壊時における鋼線の椎孔内挿入時の全摩擦抵抗が、鋼線と椎孔間の動摩擦係数 μ'_2 , 鋼線径 b_1 , 鋼線の単位長さ当たりの重量 x_1 , 頭蓋骨及び脊椎骨椎孔内における鋼線挿入開始後の全経過時間 T_2 及び脊椎骨 n 番目の長さ L_n に正比例する。すなわち、(1)式の頭蓋骨内で鋼線にかかる全摩擦抵抗 R_c と同様に(2)式の椎孔内で鋼線にかかる全摩擦抵抗 R_n は、鋼線径及び魚体長に正比例することを示している。

次に、椎孔内において脊髄押出し時に鋼線にかかる全抵抗 $R_v(N)$ は次式(3)で示される。

$$\left. \begin{aligned} R_v &= \frac{1}{2} \{ \alpha - a(x_1 - x_2) \} \\ &\quad + \mu'_3 \cdot N_3 \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_2 \pi) dt \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \alpha - \frac{v}{t} (x_1 - x_2) \right\} \\ &\quad + \mu'_3 (x_2 - \alpha) \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_2 \pi) dt (N) \\ &\quad \left(0 \leq \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt \leq \sum_{k=1}^n L_k \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

但し、 α : 本装置が頭蓋骨内に鋼線を繰出す力 (N), a : 鋼線の挿入加速度 (m/s^2), x_1 : 鋼線の単位長さ当たりの重量 (g/m), x_2 : 脊髄の単位長さ当たりの重量 (g/m), μ'_3 : 脊髄と椎孔間の動摩擦係数, N_3 : 椎孔内壁に対する脊髄の垂直抗力 (N), l_{2t} : 鋼線挿入開始から t 秒後における鋼線の椎孔内挿入距離 (m), b_2 : 脊髄径 (mm), v : 椎孔内における鋼線の挿入速度 (m/s), t : 鋼線挿入開始からの経過時間 (s), T_1 : 頭蓋骨内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), T_2 : 頭蓋骨及び脊椎骨椎孔内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), L_n : 脊椎骨 n 番目の長さ (m) である。

(3)式は、鋼線の脊髄押出し時における全抵抗 R_v は、鋼線の単位長さ当たりの重量 x_1 , 脊髄の単位長さ当たりの重量 x_2 , 脊髄と椎孔間の動摩擦係数 μ'_3 , 脊髄径 b_2 , 頭蓋骨及び椎孔内における鋼線挿入の全経過時間 T_2 及び脊椎骨 n 番目の長さ L_n に正比例する、すなわち鋼線径、魚体長及び脊髄径に正比例することを示している。

次に、頭蓋骨及び椎孔内において鋼線の受ける全粘性抵抗 $R_l(N)$ は次式(4)で示される。

$$R_l = C_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot A = C_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{b_1}{2} \right)^2 \pi (N) \quad (4)$$

但し、 ρ : 頭蓋骨及び椎孔内の髄液密度 (kg/m^3), A : 鋼線の断面積 (m^2), C_D : 髄液の粘性係数, v : 頭蓋骨

及び椎孔内における鋼線の挿入速度 (m/s), b_1 : 鋼線径 (mm) である。

(4)式は, 中枢神経破壊時における鋼線の頭蓋骨及び椎孔内髄液の粘性による全粘性抵抗 R_l は, 頭蓋骨及び椎孔内の髄液密度 ρ 及び鋼線径 b_1 に正比例することを示している。

中枢神経破壊時の鋼線にかかる全抵抗 R_t (N) は, (1), (2), (3) 及び (4) 式の合計であり, 次式 (5) で示される。

$$R_t = \mu'_1(x_1 - \alpha \sin \theta) \cdot \int_0^{T_1} (l_{1t} \cdot b_1 \pi) dt + \mu'_2(x_1 - \alpha) \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_1 \pi) dt + \frac{1}{2} \left\{ \alpha - \frac{v}{t} (x_1 - x_2) \right\} + \mu'_3(x_2 - \alpha) \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t} \cdot b_2 \pi) dt + C_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{b_1}{2} \right)^2 \text{ (N)} \left. \begin{array}{l} \left(0 \leq \int_0^{T_1} (l_{1t}) dt \leq L \right), \\ \left(0 \leq \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt \leq \sum_{k=1}^n L_k \right) \end{array} \right\} \quad (5)$$

(1), (2), (3) 及び (4) 式より, (5) 式は中枢神経破壊時に鋼線にかかる全抵抗が鋼線径, 魚体長, 脊髓径, 鋼線の全挿入時間, 頭蓋骨及び椎孔内髄液の粘度に比例し, しかも魚体長が最も影響することを示している。

中枢神経破壊時の鋼線にかかる全抵抗 R_t の試算例
中枢神経破壊時の鋼線にかかる全抵抗 R_t について, 実測値と推定値に基づき試算検討した。中枢神経破壊用鋼線に線径 b_1 3.0 mm のステンレスワイヤロープ (S-1×19-3.0) を使用し, 出力電圧 (直流) 28 V で試作 2 号機の中枢神経破壊装置を駆動すると, 実測値から鋼線の単位長さ当たりの重量 x_1 は 44.9 g/m, 本装置が頭蓋骨内に鋼線を繰出す力 α は 51.2 N/m, 繰出し速度 v は 0.186 m/s である。ここで, 頭蓋骨内における鋼線の挿入角度 θ を 0.52 rad, 脊髓の単位長さ m 当たりの重量 x_2 を 2.0 g, 頭蓋骨内及び椎孔内の髄液密度 ρ を血液とほぼ同じ 1,200 kg/m³, 脊髓径 b_2 を 1.0 mm とすると, (5) 式から中枢神経破壊時の鋼線にかかる全抵抗 R_t は, 次式 (6) で示される。

$$R_t = -9.4 \cdot 10^{-3} \cdot \left\{ 25.5 \mu'_1 \cdot \int_0^{T_1} (l_{1t}) dt + 51.1 \mu'_2 \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt - 321.5 \cdot 10^{-3} \cdot \mu'_3 \cdot \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt + 17.1 - \frac{0.006}{t} + 1.5 \cdot C_D \cdot 10^{-4} \text{ (N)} \right. \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} \left(0 \leq \int_0^{T_1} (l_{1t}) dt \leq L \right), \\ \left(0 \leq \int_{T_1}^{T_2} (l_{2t}) dt \leq \sum_{k=1}^n L_k \right) \end{array} \right\}$$

但し, μ'_1 : 鋼線と頭蓋骨間の動摩擦係数, μ'_2 : 鋼線と椎孔内間の動摩擦係数, μ'_3 : 脊髓と椎孔間の動摩擦係数, t : 鋼線挿入開始からの経過時間 (s), T_1 : 頭蓋骨内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), T_2 : 頭蓋骨及び椎孔内における鋼線挿入開始後の全経過時間 (s), C_D : 頭蓋骨及び椎孔内の髄液の粘性係数である。

ここで, 頭蓋骨内における鋼線挿入の全経過時間 T_1 を 3(s), 頭蓋骨及び椎孔内における鋼線挿入の全経過時間 T_2 を 13(s), 鋼線挿入開始からの経過時間 t を 13(s), 挿入開始から t 秒後における鋼線の頭蓋骨内挿入距離 L を 0.2(m), 全脊椎骨の長さ $\sum_{k=1}^n L_k$ を 1.2 (m), 鋼線と頭蓋骨間, 鋼線と椎孔間及び脊髓と椎孔間のそれぞれの動摩擦係数 μ'_1, μ'_2 及び μ'_3 を 0.2, 頭蓋骨及び椎孔内の髄液の粘性係数 C_D を 1.5 とすると, (5) 及び (6) 式から中枢神経の破壊時に鋼線にかかる全抵抗 R_t は, 以下に示すように 16.9 (N) となり, 全脊椎骨の単位長さ当たり 12.1 (N/m) 程度と推定される。

$$R_t = 17.1 - 202.4 \cdot 10^{-3} - 2.35 \cdot 10^{-4} \approx 17.1 \text{ (N)}$$

マグロの血抜き及び中枢神経破壊は主に手作業で行われており, 同方法により中枢神経を完全に破壊するには, 経験と勘が極めて重要となる。本研究で試作した簡易装置は, 先ず鋼線を松果体窓から挿入し, 次に椎孔内を貫通させるという単純作業により中枢神経の破壊が容易に可能となる。このため, 未熟者でも容易に使用できるなど, 中枢神経破壊のための作業の単純化と能率化が可能となるものと考えられる。

本装置は鋼線の椎孔内への挿入による脊髓破壊の簡易化を目的とし, 脳の破壊作業の簡易化は考慮に入れなかった。脳の破壊に必要な装置の機能は, 中枢神経破壊装置の機能と異なり, 本装置の機構は複雑となり大型化する結果, 操作性の難渋が想定されるので, 脳の破壊作業は現行の人手作業に留めることが望ましいものと考えられる。また, 脳には体側筋を直接支配する運動ニューロンが存在しないので, 脳の破壊はそれほど必要ではない。

残された関連研究項目としては、ステンレスワイヤロープの防錆実証、試作中枢神経破壊装置の実証と耐久性、及びサメなどの他魚類への適用の有効性の確認などである。

文 献

- 1) 山崎清祐：鮪の上手な殺し方教えます。水産世界，27，52-57 (1977)。
- 2) 日本魚類保鮮研究会開発研究会：メメまぐろ（刺身）の作り方，吉村産業株式会社，大阪，1988，pp. 1-12。
- 3) 日本魚類保鮮研究会開発研究会：メメまぐろ（刺身）の作り方，吉村産業株式会社，大阪，1988，pp. 116-118。
- 4) 板倉忠男，玉本純生，森田 稔：魚類刺殺機，特開平 8-38030，(1996)。
- 5) 阿藻盛之：活魚締め処理具，特開平 8-173020，(1996)。
- 6) 松村寿男：魚しめ機における刺し刃の調節装置，実開昭 55-113084，(1981)。
- 7) 松村寿男：魚しめ機における魚収容室調節装置，実開昭 55-113085，(1981)。
- 8) 松村寿男：魚しめ機における魚のすべり止め装置，実開昭 55-113083，(1981)。
- 9) 三浦昭二郎：即殺魚の神経抜き方法及び神経抜き装置，特開平 7-264968，(1995)。
- 10) 吉村安正：殺し処理した大型魚，実開平 3-91784，(1991)。
- 11) 吉村安正：殺し処理した大型魚，実開平 2-3757，(1990)。
- 12) 日本魚類保鮮研究会開発研究会：メメまぐろ（刺身）の作り方，吉村産業株式会社，大阪，1988，pp. 109-110。
- 13) 岡村周諦：動物実験解剖の指針，風間書房，東京，1956，pp. 379-405。
- 14) 飯泉新吾：新版機械設計便覧，丸善株式会社，東京，1973，pp. 1547-1595。
- 15) 松本洋介：新編セミナー物理，第一学習社，東京，1991，pp. 158-167。
- 16) 須田有輔：日本産マアジの骨格系，北九州市立自然史博物館研究報告，10，53-89，(1991)。
- 17) 落合 明：魚類解剖学，緑書房，東京，1987，pp. 46-50。
- 18) 石川 昌：水産動物解剖図譜，日本大学農獣医学部水産学会，東京，1958，pp. 112-118。