

海水圧工具の研究

—ダイバー用水中グラインダー兼ワイヤブラシの試作—

山口仁士^{*1} 稲垣夏郎^{*1} 中野勝正^{*1}

海中でダイバーが使用する動力手工具には現在、油圧、空圧、電気による駆動方式のものがあるが、油圧、空圧のものについては陸上工具を多少改造して海中へ持ち込んだものである。電動工具を含めこれらの工具の海中使用に際してはさまざまな問題点が認められるが、これらの問題を解決すべく、海中使用専用の動力手工具として、高圧海水を作動媒体とした海水圧工具を試作した。現在、グラインダー、ワイヤブラシ、切断ソーとして使用できる試作第2号機が完成している。数名のダイバーによる水中での試用試験を終え、満足できる評価を得ており、ほぼ完成のめどが立った。

Development of Seawater Hydraulic Tools for Diver Use — The latest model of the underwater grinder and brush-cleaner for diver use —

Hitoshi Yamaguchi^{*2}, Natsuo Inagaki^{*2}, Katsumasa Nakano^{*2}

There are three types of power supply for divers hand tool. They are the hydraulic oil, pneumatic, and electricity systems. But these systems are not sufficiently suitable for underwater use, and are accompanied by several problems. To solve these problems, a new type of underwater tool driven by highly pressurized seawater was planned and developed. The second trial model for use as a grinder, brush-cleaner, and cut-off saw was completed. After underwater operational tests by several divers, satisfactory results and evaluations of the tool for practical use were realized.

^{*1} 潜水技術部

^{*2} Manned Undersea Science and Technology Department

1. 背 景

潜水の手段にはさまざまなものがあるが、その中で有人の環境圧潜水は機械ではできない細かな仕事や総合判断を要する仕事に向いている。しかし大きなパワーを水中で人間が出すことは難かしく、ここに陸上と同様、ハンドツール導入の必然性が認められる。

陸上では使用されているハンドツールの動力としては油圧や空圧、電気によるものがある。油圧や空圧駆動のものについては、現在水中で使用できるものは同じタイプのものを改造してそのまま水中へ持込んだものであり、電気駆動のものについては未だに一般化されておらず、それぞれ水中使用に際し種々の問題点を露呈する。海洋科学技術センターの潜水技術部でも、パワーソースの入手が容易なことから、シートピアプロジェクトにおいて水中電動工具を2回にわたり開発試作したが、電気を使用するという点でダイバーに感電の不安を抱かせ、あまり市場へ普及する見込みがないままになっている。

米国海軍の研究機関の一つであるCEL (Civil Engineering Lab.) では1970年代後半から新しい動力として油圧の油を水に置き換えた様なシステムを研究していたが、1980年頃は中断していたようである。それまでのレポート等により、海水を作動媒体とすることが如何にすばらしいかを報告しているが、折しも富山県に本社をもつ㈱スギノマシンにおいて高圧水モーター (商品名 AQUA MÔTÔR) が開発された。そこで潜水技術部では、このモーターを利用して種々の長所を有した海水圧工具を実用化すべく、昭和56年度から3カ年計画で海水圧工具の研究をはじめた。

2. 海水圧工具の長所

作動媒体として水 (海水でも可) を使用する水中水圧工具のシステムを他と比較すると表1のとおりとなる。さらに詳細にあらわすと表2の如くである。表2中、問題点として海水腐食が起こりやすいことが挙げられているが、これについては各部材に徹底して耐腐食性の材料を用いることで解決できる。また、潤滑性の悪さについては、油圧モーター等の定容積型モーターの場合にのみ問題であり、今回使用したターボ型のモーターでは

問題とならない。

3. 設計の方針

前に記したように、海水圧工具は他のタイプに根本的に存在する安全面での欠点を払拭しており、さらにダイバーオペレーション面でも都合の良い特徴を有している。すなわち、安全面から言えば、表2中の① *d*, *e*, *f*, 操作面から言えば① *h*, ② *c*, *d*, *g* 等である。設計にあたってこれらの潜在的利点を最大限に生かすのはもちろんであるが、不注意にその利点を相殺することのないようにするのが肝要である。そこで以下の点に留意して設計を行った。

①重量はできるだけ小さくすること。

②ホースについても軽量化に注意し、陸上での運搬、海中でのハンドリングのために最小曲げ半径の小さいものとする。

③水中に長時間滞在すると人間の皮膚が柔らかくなり切れやすくなるため、工具の外面に鋭利な突起を避ける。具体的にはコーナーを丸めるとか、ねじ類の頭を埋めるとかである。

④ダイバーにより操作性に個人差があるが、それらを出来るだけ吸収できる形状とする。具体的には取手の位置、形状を可変にできること等である。

⑤水中でダイバーが操作する部分、すなわち ON-OFF バルブ等は一挙動で操作できること。

またハンドツールという性格上、堅牢性や保守性が重要課題となる。堅牢性については発錆の問題が大きな部位を占めるが、これについては重量軽減の問題とも合わせ、できるだけ非鉄の軽い材料を使用し、強度を要する部分には耐食加工を施したアルミ合金やステンレス鋼を使用した。保守性については部品構造の単純化、部品数の削減、分解、組立の容易さ等を考慮に入れた。

4. 設計および製作 (試作第2号機の概要)

前述した方針に基づき材料の選定、構造の決定を行ったが、以下各部品ごとにその設計要旨、製品の概要について述べる。

①モーター

工具の心臓部である㈱スギノマシン製のモーターの標準型 (無負荷時 回転数 ≈ 3000 r. p. m)

表1 水中手工具の駆動源による分類とその特徴
Classification of Underwater Hand Tool in its Power Supplies

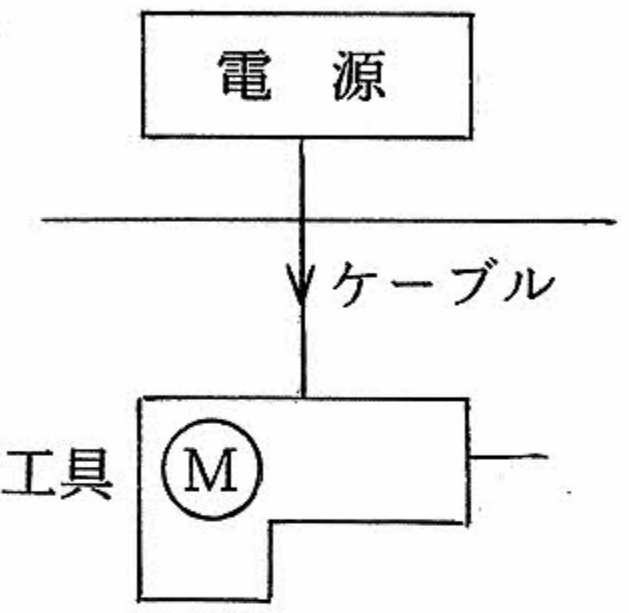
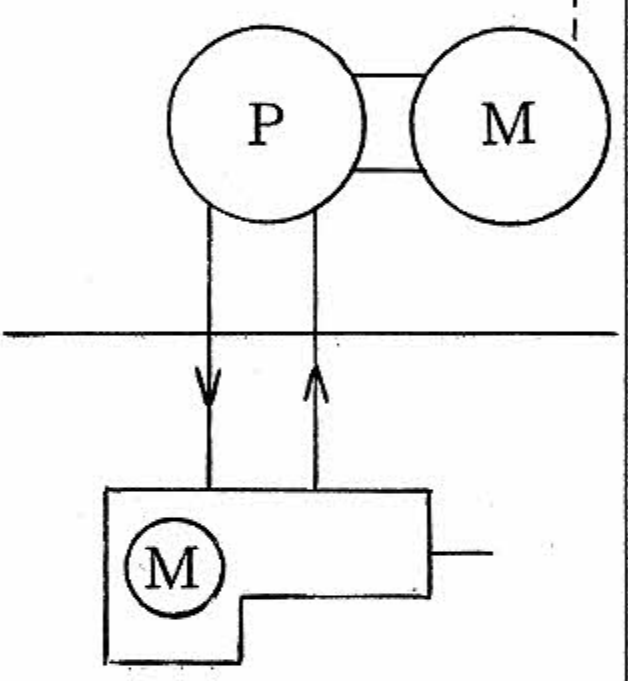
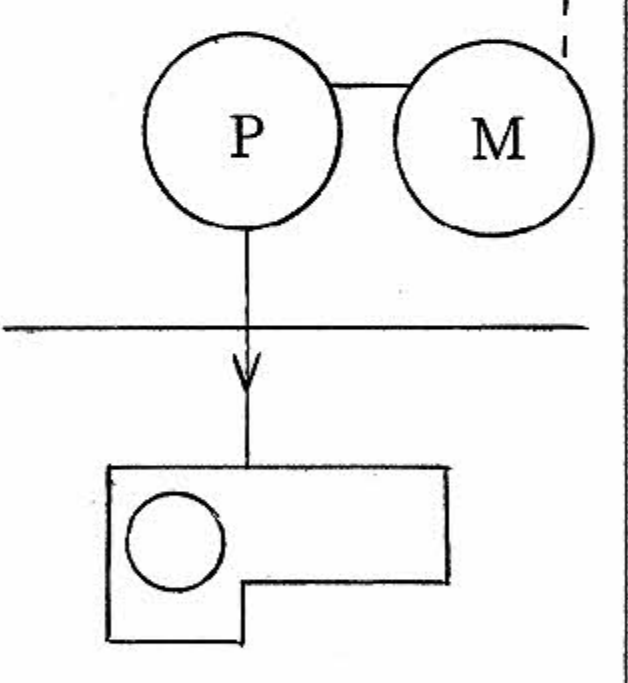
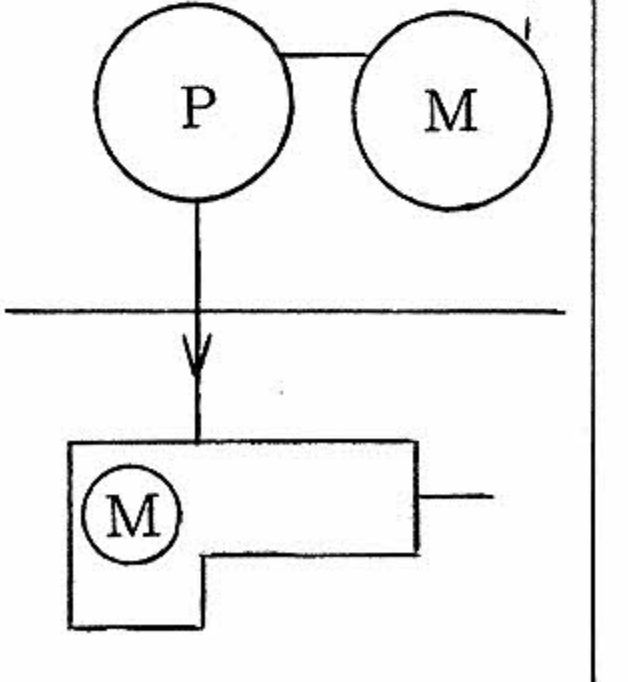
項目 種類	作動原理略図	特 徴		実 績 例
		長 所	短 所	
電 動 工 具		電源の入手が容易 ケーブル重量が比較的小さい 水の汚染がない 深度制限なし	漏電危険 絶〇必要 速度変化に制限あり	インパクト トレンチ ドリル グライン ダー ソー etc.
油 圧 工 具		回転速度コントロール容易 ON-OFF 応答良好 深度制限なし	往復ホース2本必要 リークに対し弱い（海水混入時はダメージ）	インパクト トレンチ ドリル グライン ダー ソー ハンマー etc.
水 圧 工 具		ON-OFF 応答良好 深度制限なし 作動流体を放出しても可	作動流体の油滑性悪し	なし
空 気 工 具		回転速度コントロール容易 ON-OFF 応答電動よりは良 オーバーロードによる損傷なし	水中視界・通信に難あり 使用深度制限あり 故出部凍結あり	インパクト トレンチ ドリル グライン ダー ソー ハンマー etc.

表2 水中水圧工具の特徴
Features of Seawater Hydraulic Tool

① 油を使用しないことによる利点 - a 環境汚染がない。 - b 作動流体の汚染がない - c 作動流体が身近にあるため、予備の作動流体を必要としない。 - d 火災の危険がない。 - e 呼吸ガス汚染がない。 - f 油が落ちこぼれることによる人体への危害が少ない。 - g 作動流体の貯蔵が不必要 - h 低粘圧のために、ホースの低抗が少なく、従って供給ホースの○を減少出来る。 - i オペレーションコストが下がる。
② 戻りホースが不要であることによる利点 - a ポンプの力量が少なくてすむ。 - b 流れ、サージングによる抵抗が少なくなる。 - c ハンドリング時の重量が軽減される。 - d 重量、容積が少なくなり、運搬に便利である。 - e 工具の背圧が減少される。 - f 作動深度及び作動範囲が増大する。 - g ホースがより軟かいので、ダイバーのハンドリングが簡単である。 - h 戻りホースの圧力バランスが不要
③ 海水を使用することによる利点 - a 作動時の温度が、ほぼ一定である。 - b 冷却が不要 - c 温度、圧力に起因する粘性変動が少ない。
④ 問題点 - a 海水腐蝕が起りやすい。 - b 滋滑性が悪い

表3 アクアモーター諸元
Specification of AQUA MOTOR

		型 式 model	最高出力 max. output (ps)	最 高 出 力 時 at max. output		停止トルク stall torque kgf-m	最高使用 回転数 max. speed (rpm)	最高使用 圧力 max. pressure kgf/cm ²	消費水量 water consum- ption l/min	自 重 weight kgf
				トルク torque kgf-m	回転数 speed rpm					
水中タイプ immersion type	標準型 standard models	WM-4021-300	0.8	0.33	1,750	0.5	3,000	6 0	2 2	2.0
		WM-4032-300	1.0	0.45	1,600	0.7	3,000	4 0	3 4	2.0
		WM-4046-300	1.5	0.67	1,600	0.9	3,000	4 0	4 8	2.0
		WM-4060-300	2.0	0.84	1,700	1.3	3,000	4 0	6 5	2.0
	低速型 low-speed models	WML-4021-300	0.8	3.2	180	4.7	310	6 0	2 2	2.7
		WMG-4021-300	0.8	1.7	340	2.6	560	6 0	2 2	2.7
		WMG-4032-300	1.0	2.4	300	3.6	560	4 0	3 4	2.7

には表3に示す4種類のものがある。この中で圧力、流量、ホース内の摩擦抵抗を考慮しWM-4046-300型を採用した(写真1)。この際ホースやバルブも圧力、流量、抵抗等に関係してくるのはいうまでもないが、これらを考慮して馬力を決定する際次の評価を行った。陸上用のワイヤブラシ、グラインダーとして使用される電動工具に関し、重量と馬力の関係を表わしたものが図1である。この図より、最終的な水中重量を2kg前後にとどめることで重量と馬力の比を小さくでき、当初からのダイバーの希望であった軽量高出力の工具を作ることが可能となるということである。

モーターの軸には直接各種の市販のアタッチメントが付けられるように、市販製品の規格に適合した軸径またはねじ寸法と合わせるため4種類のブシュと1種類のニップル(写真2)を用意した。

また、モーターは、使用水深に応じた水圧による外圧を処理するため油封均圧式をとっている。そのため回転の際モーターが熱をもち、シールが切れたりする可能性がある。故に図2のごとく、一度後部から排出された水をモーターのまわりに流し、強制冷却をする方式をとっている。このような構造にすることにより、モーター後部内に露出しているベーンにダイバーが指などを入れて傷つくことも防げるほか、工具前面から排出された水が、作業によって生じたゴミをダイバーの視界から排除する機能をも有することとなる。

②ホース

モーターに十分な圧力と流量を供給するため、ホースの耐圧性や内面の粗度、流路断面積が問題となる。また、操作性を向上させるため外径、最小曲げ半径および重量の小さいものが良い。これらの条件を満足させるため5種類のホースについて比較検討を行い、東海ゴム工業㈱のNH 100-06を選択した(写真3)。

ホースの工具近辺は作業面に近く損傷を受けやすいため、防護策として本工具では耐食性を考え、新しく開発されたナイロン性のガードコイルを取り付けた。

③モーターおさえコマ

(1)前部おさえコマ

写真4にあるようにモーターをハウジング

に抑え、かつ両者の間に隙間をとるため、くし形の6個のコマを作った。このコマの間を冷却水が流れるため、背圧があまり立たぬように流路の面積をとった。この突起はハウジングと一体物でもできるが、ハウジングは耐圧浮力材でできており、小さな突起は特に脆いという欠点があるので、あえて別の部材とした。これによりハウジング加工も容易になった。

材質はモーターとハウジングをフィットさせるため柔軟性を持ちかつ非腐食材であるMCナイロンとした。

(2)後部おさえコマ(写真5)。

用途は前部のものと同じであるが、モーター後部に締めまりばめで取り付けられている。材質も同じくMCナイロンである。

④ハウジング(写真6)。

ハンドツールはかなりの振動を生じるが、そのため締め付け部に緩みが生じると、それが破壊の原因になりうる。故に圧力による寸法変動の防止、また軽量化を図るため「しんかい2000」等に用いられている耐圧浮力材を使用した。この材料は細かいすり合わせが容易に行え、塗料がのりやすいのも利点である。(微小中空ガラス球の硬度が高いため旋盤加工の場合、バイトが減りやすいという欠点はある。)

最大の欠点としては脆さがあげられるが、それについては以下の考慮を払ってカバーした。

イ. 寸法の精度をあげて緩みをなくす。

ロ. 各コーナーは極力丸味をつける。

ハ. 強度計算は静的なものしか行っていないが、ガラス、レンガの場合と同様に20倍の安全率をとった。

ニ. 浮力材そのものにタップをたてるとねじ切りの恐れがあるので、ステンレスのナットを接着剤で埋め込み、めねじとする(写真7)。

また、2分割のハウジングを接合するため4本のボルトを使用するが、突起を避けるため沈頭式をとる。その場合、分解組み立てが容易なように六角穴付ボルト(ステンレス)を使用した。

⑤後部取手

ダイバーがホース、バルブの位置に対し後部取手を自由な位置にセットできるよう、取手の座を二つに分け、凸凹をつけて360°回転できるよ

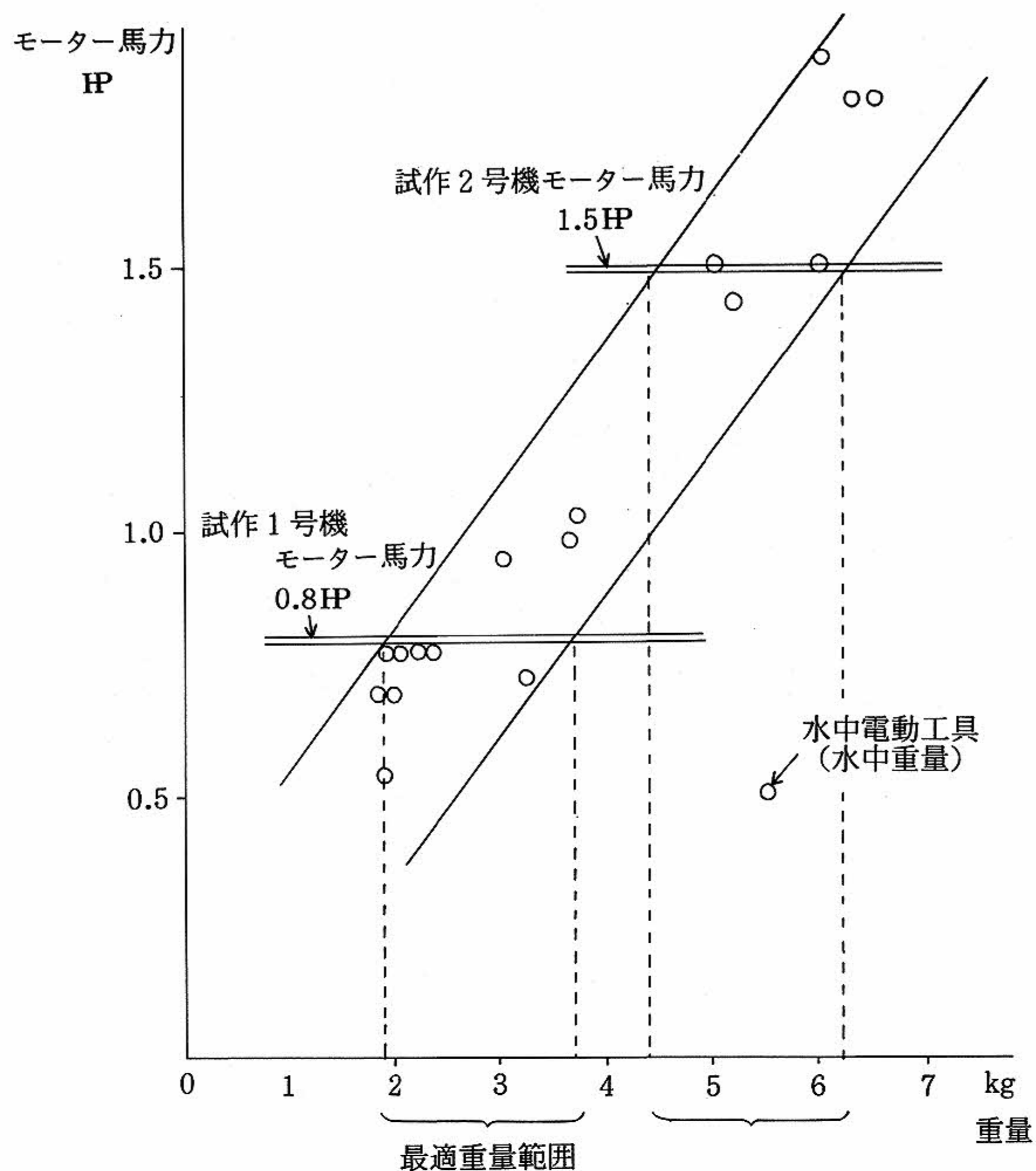


図1 電動工具 重量と馬力の関係
(ワイヤブラシ, グラインダー)

Relationship between weight and HP of electrical
tool for land use (brush-cleaner, grinder)

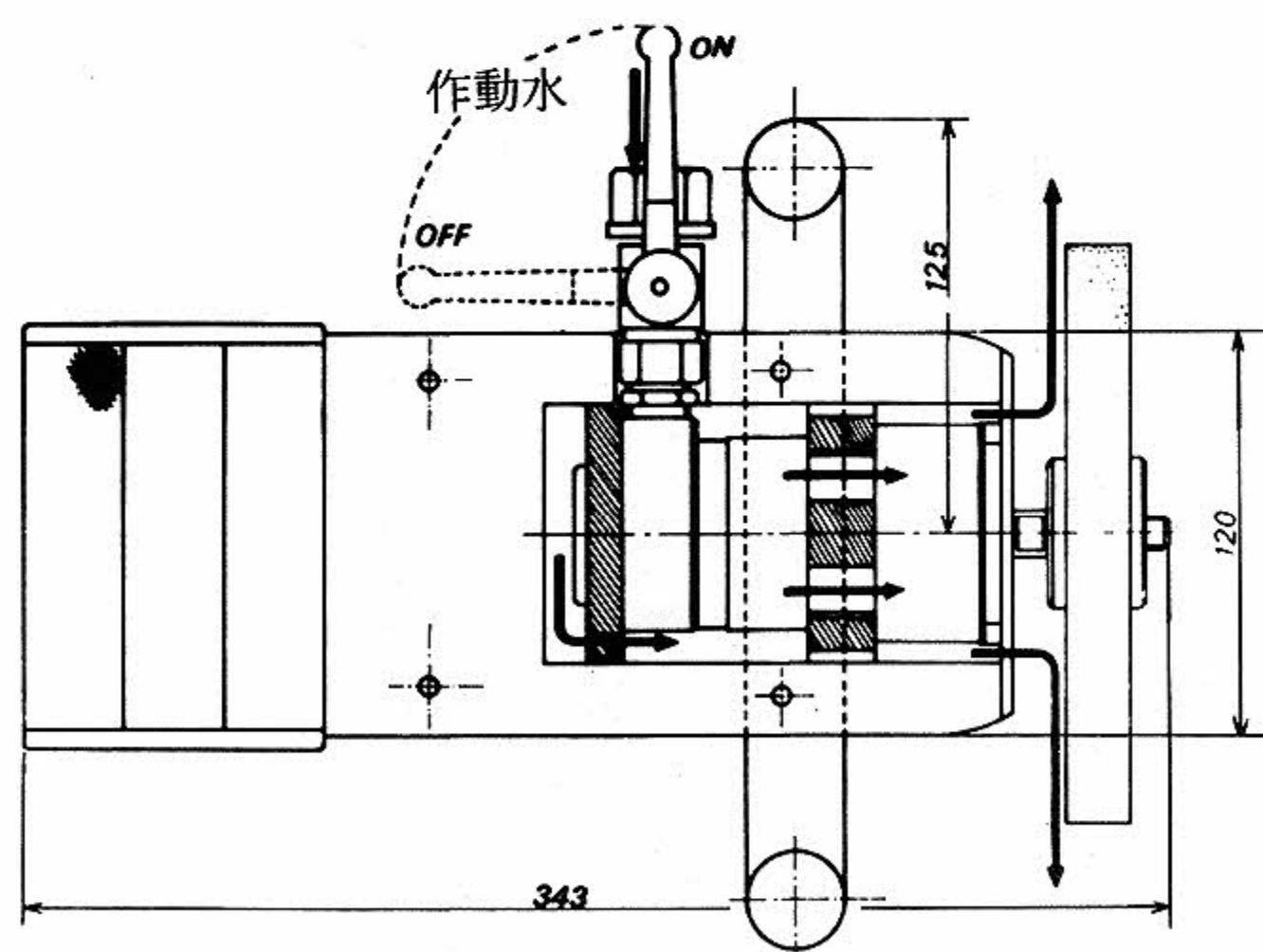


図2 工具側断面と作動水流路
Side sectional view of
the tool and its water
pass

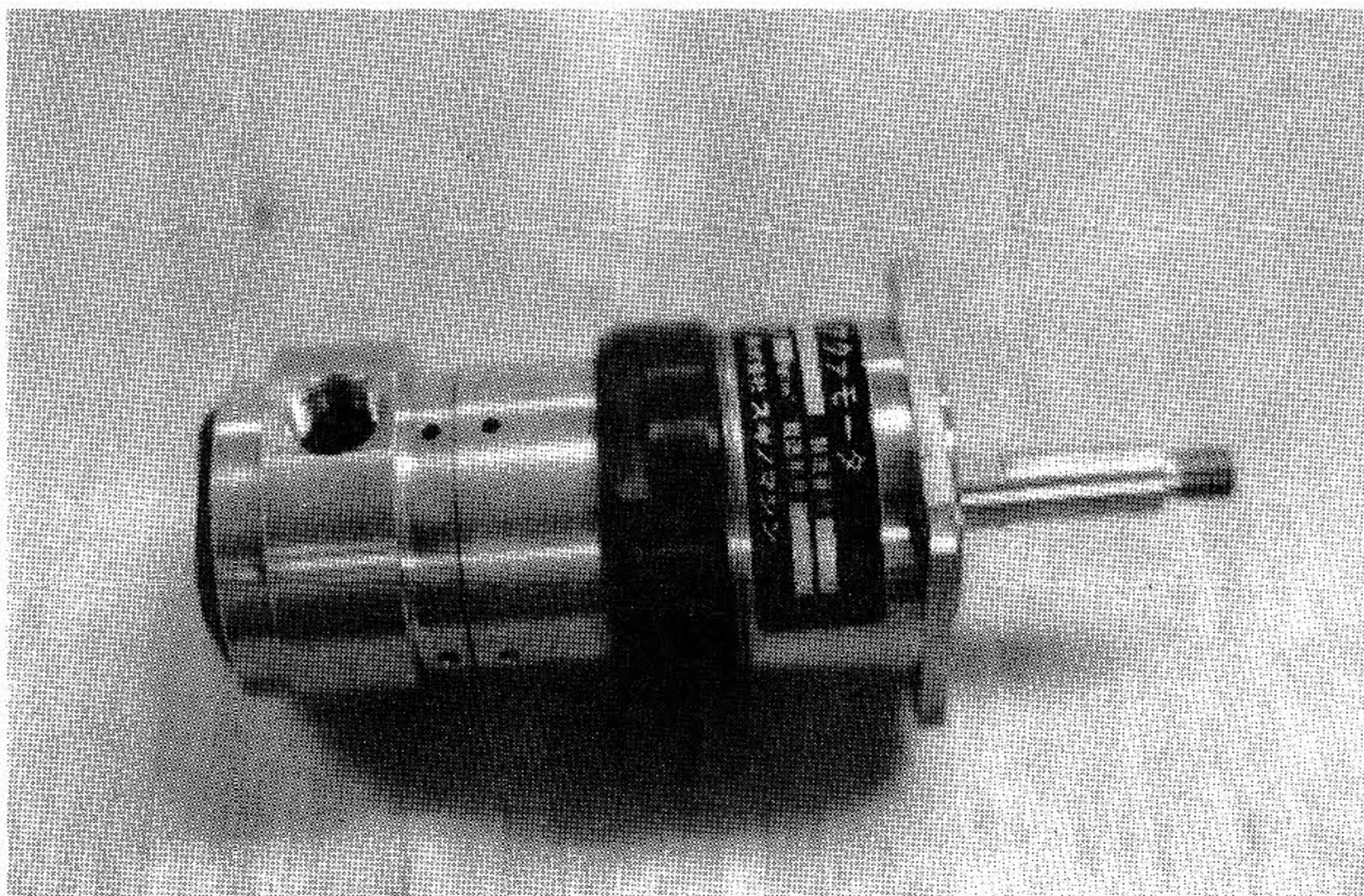


写真1 アクアモーター
Aqua motor

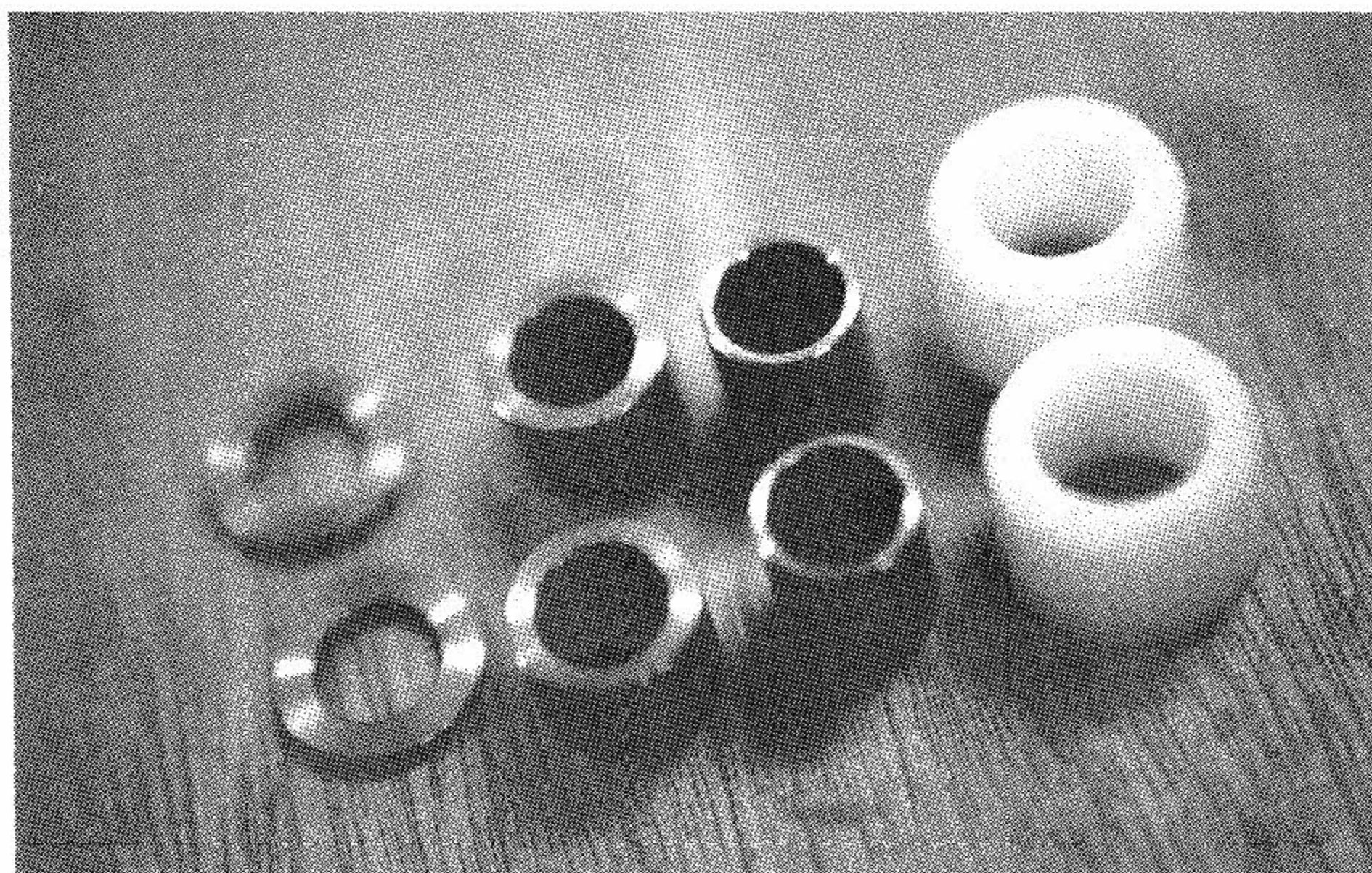


写真2 ブシュ, ニップル
Adaptors

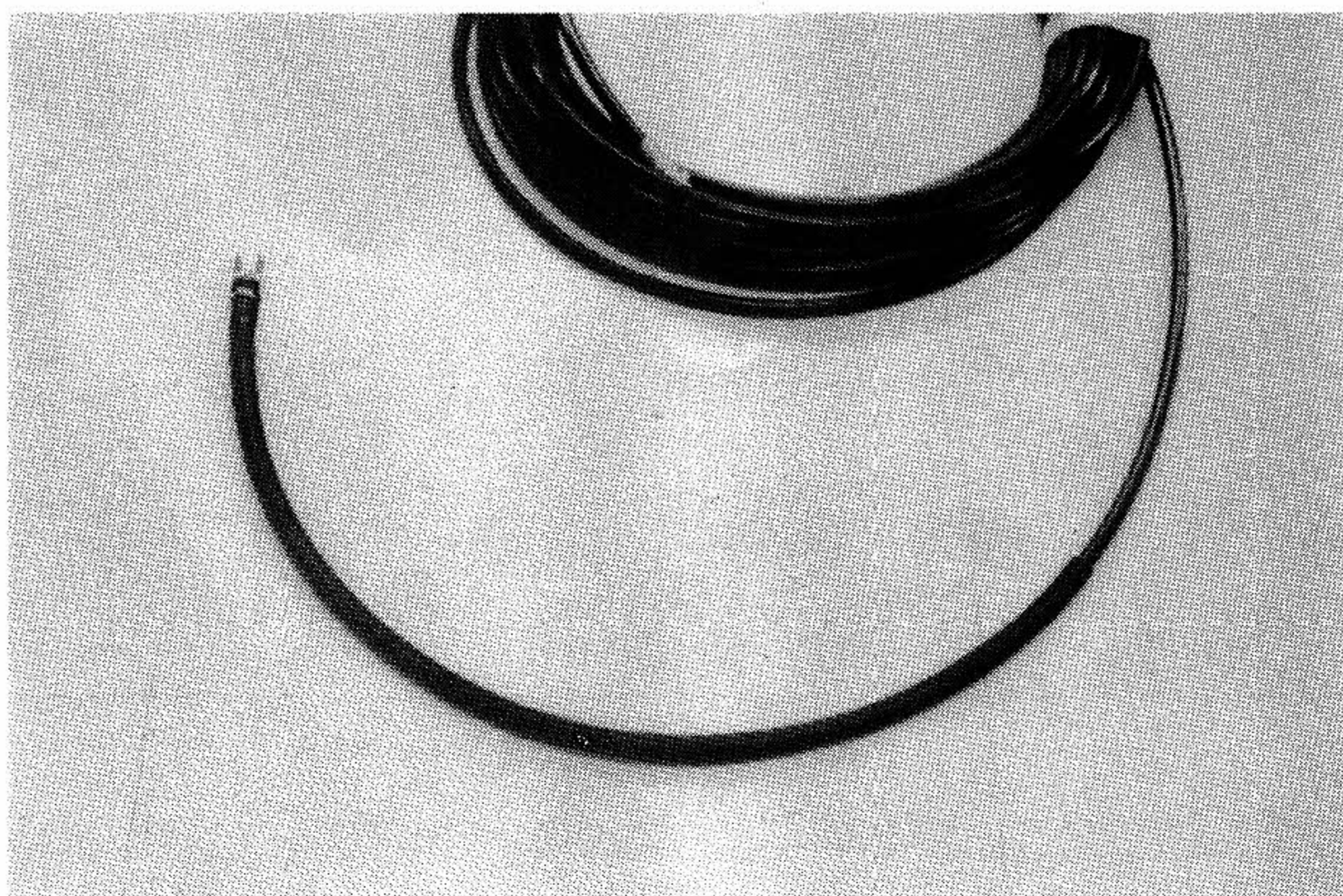


写真3 ナイロンガード付きホース
Umbilical hose with nylon guard

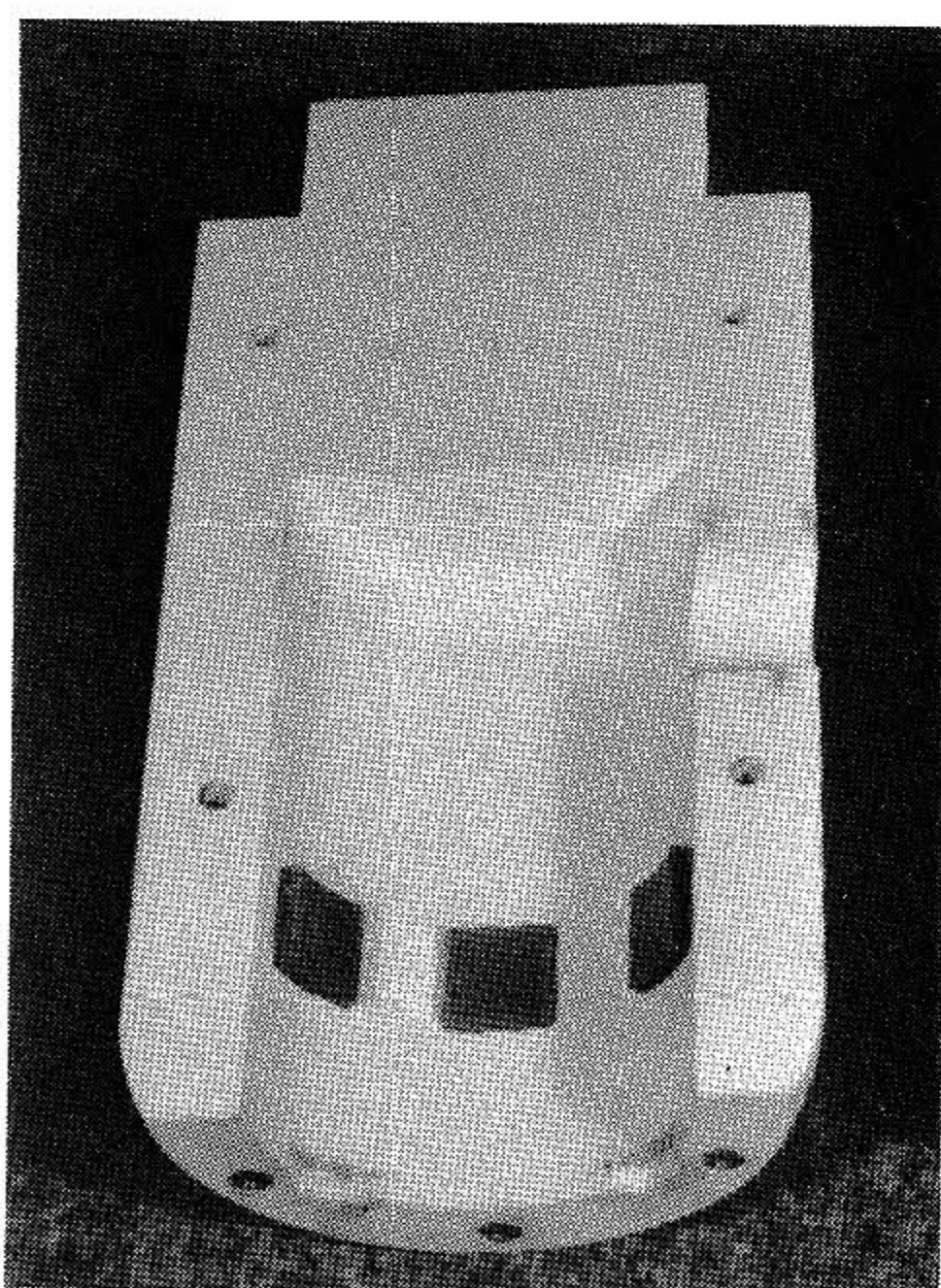


写真4 前部おさえコマ
Fittings between front part
of motor and housing

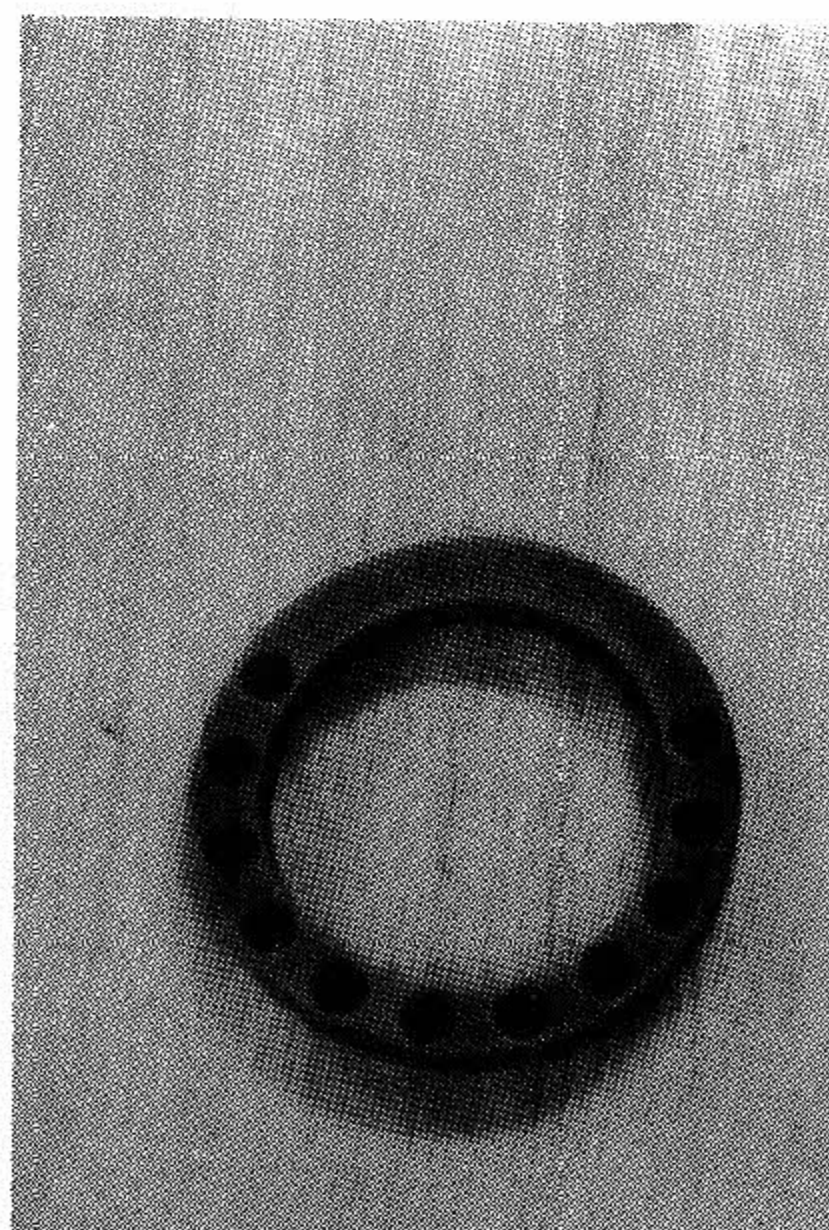


写真5 後部おさえコマ
Fittings between rear part
of motor and housing

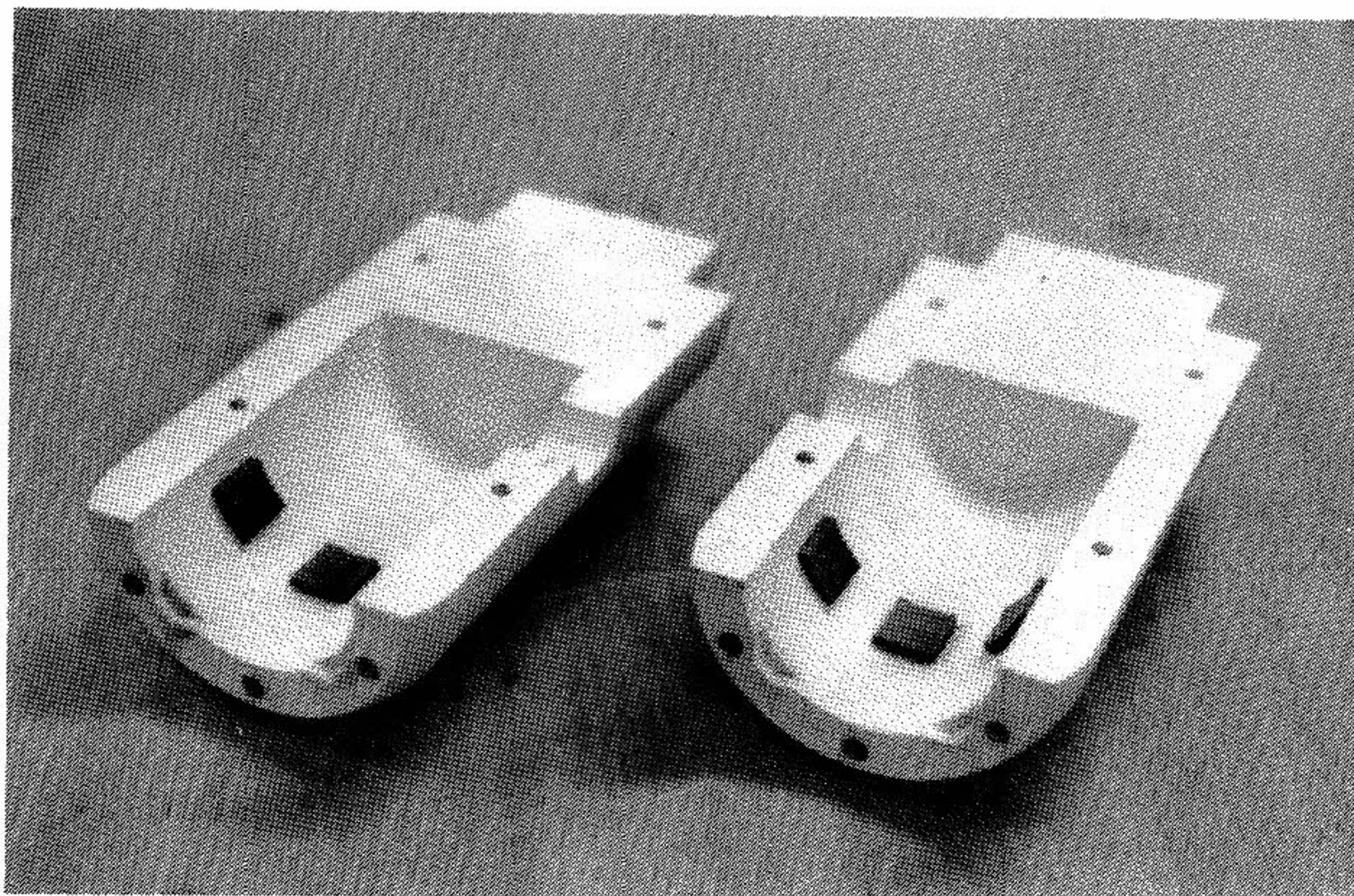


写真6 ハウジング
Housing

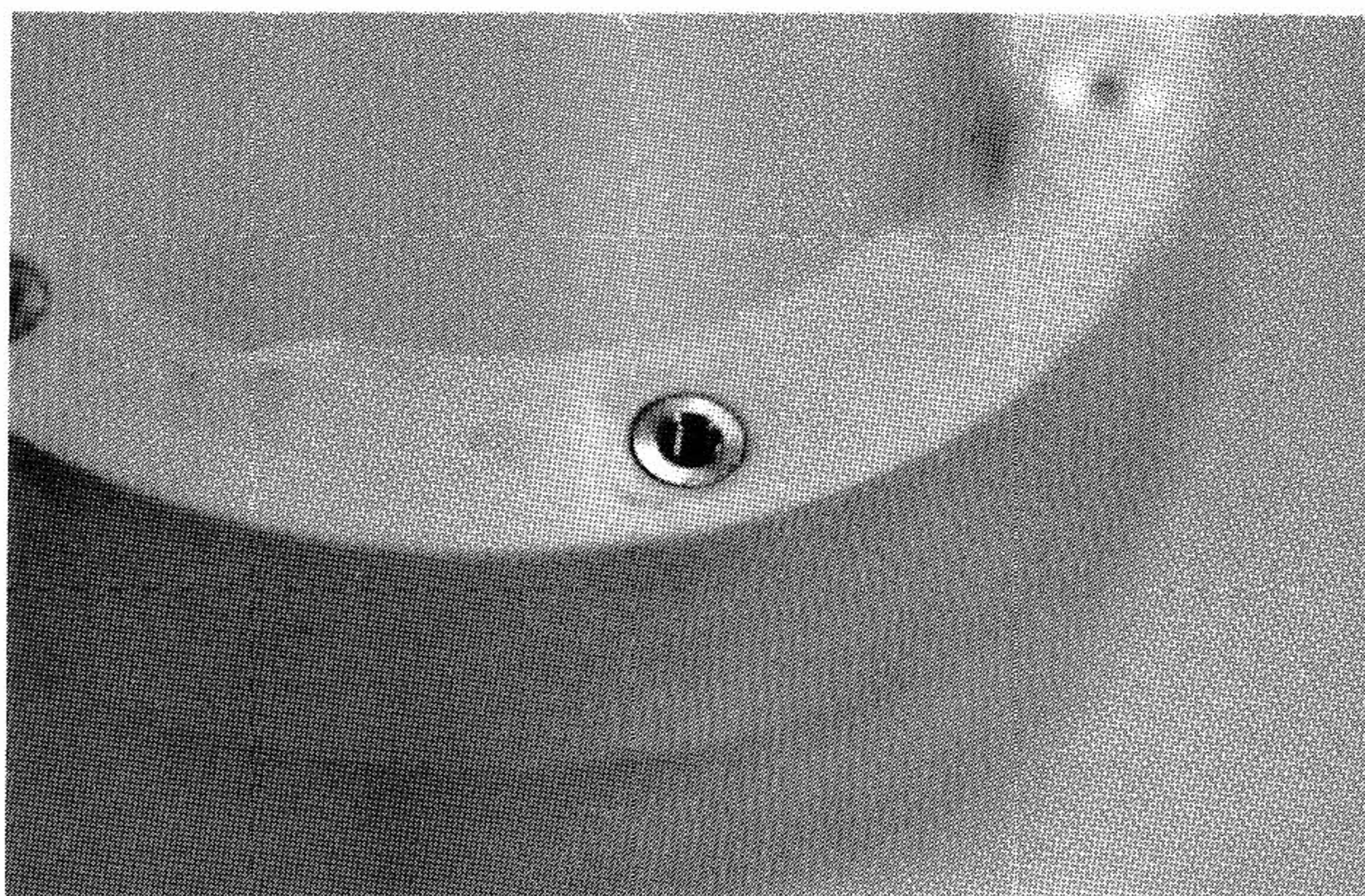


写真7 埋込みナット
Buried nuts

うにしている。凹部は、アルミ合金にタフラム処理（陽極酸化被膜にテフロンを浸含させ耐食性を高める表面処理法）を施したものをを用い、凸部には、回転により凹部の被膜を剥離させないように、自己潤滑性のあるMCナイロンを使用した（写真8）。ハウジングへの凸部の取り付けは、沈頭させた六角穴付ボルト4本によっている。

グリップ部はアルミ合金であるが、各部品の取り合いをステンレス製のねじで行うためにもタフラム処理が必要となる。円筒部は中ぐりしてあるが、軽量化のため耐圧容器とならないよう筒を貫通する小孔を2カ所にあけ、潜水作業時厚手の手袋を使用するため外径は多少細めにし、すべり止めにロレット加工（格子状の細かいきざみ目）を施している（写真9）。

さらに、作業時に取手が動くとき力をいれにくいように、座を貫通した蝶ねじによりワンタッチで固定できるようにもしている（写真10）。

⑥前部取手

前部取手としては写真11のように3種類を用意した。左端のものは取手が1本で、他は2本であるが、中央のものは、グリップ間の角度をある程度選べるようにしたほか、ロープ等で釣れるようアイボルトも装着でき、グリップ部は左端のものと同様ねじ込みで固定している。右端の取手のグリップ2本は固定している。材質はアイボルトがステンレスのほかはタフラム処理済みのアルミ合金であり、グリップは後部のものと同様に軽量化のため中ぐりし、ロレットをかけている。

これらの取手は本体組み立て後、前部からはめ込むが、その時点で軸まわりに360°、軸と平行に約50mmの範囲内で位置決めができる。さらに、固定を一挙動でできるようクイックレバーを用いているので、作業途中で位置の変更をするのも容易である（写真12）。

⑦モーター前部おさえ板（写真13）

この部品は、2分割のハウジングおよびハウジングとモーター前部をそれぞれ結合させるものであるが、冷却水をゴミ除去用として前部から出す必要上、円弧状の4つのスリットを有している。材料としては、強度を確保するため3mm厚のステンレスを用い、板とハウジングは沈頭式のさら小ねじ6本で結合されている。

板とモーターは、六角穴付ボルト4本で結合しているが、このボルトを沈頭式とするとおさえ板の厚みを増す必要があり重量が増加する。また、この部分はダイバーが殆んど触れない箇所でもあることから、これらのボルトは頭を出している。

⑧バルブ

使用圧に耐え、出来る限り軽量で小型のものをを用いることは言うまでもない。止め弁タイプは弁座の部分が絞られており、ここでの圧力損失が大きい。

圧力損失が比較的小さくまたダイバーが一挙動でON-OFFできるためにもボール弁が優れており、これを使用した（写真14）。

ボール弁のレバーの向きは、流れの軸と平行でON、垂直でOFFであるが、OFFのときの向きが工具前面にゆくようであるとグラインダー等の作業面に手が触れる可能性があるため、モーターの停止はレバーを手前に引いて行うこととした。

以上述べた部品をまとめて写真15に示す（部取手を除く）。

5. 考 察

今後の課題として次のものがあげられる。

①さらに高出力、軽量化されたモーターを開発すること。

②トルクレンチでは、モーターの回転方向の切り換え（正逆転）が必要となるため、正逆転可能な機構を開発すること。

③廉価で強いハウジングの表面保護の方法を開発すること。例えば熱縮チューブ等による保護。

④本工具は、溶接や非破壊検査時の前処理として使用される場合が多いと考えられる。その場合どの程度の表面処理が要求されるのかを調査し、それに応じた工具の性能を検討すること。

⑤水中における人間工学的な見地から工具を設計することが最良であるが、水中での作業能力に関するデータは乏しく、かつ定量的な把握が殆んどできていないのが世界の現状である。水中におけるマン・マシンシステムを確立するには是非必要なことであるため、今後の研究の価値があると思われる。

⑥従来使用されてきた水中工具のシステムに比して、本工具は性能面では優れているものの、コ

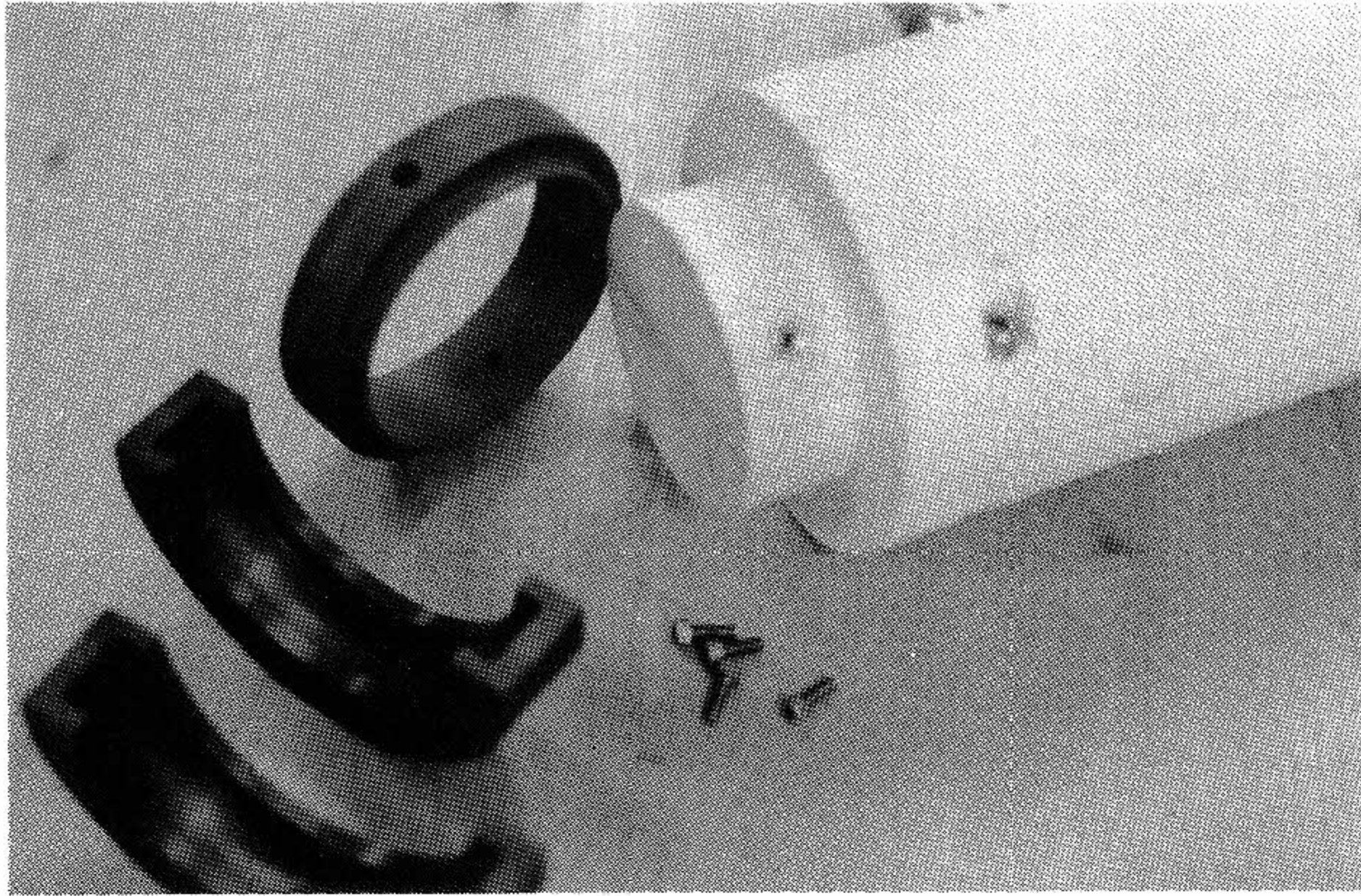


写真8 後部取手座分解図
Parts of rear handle

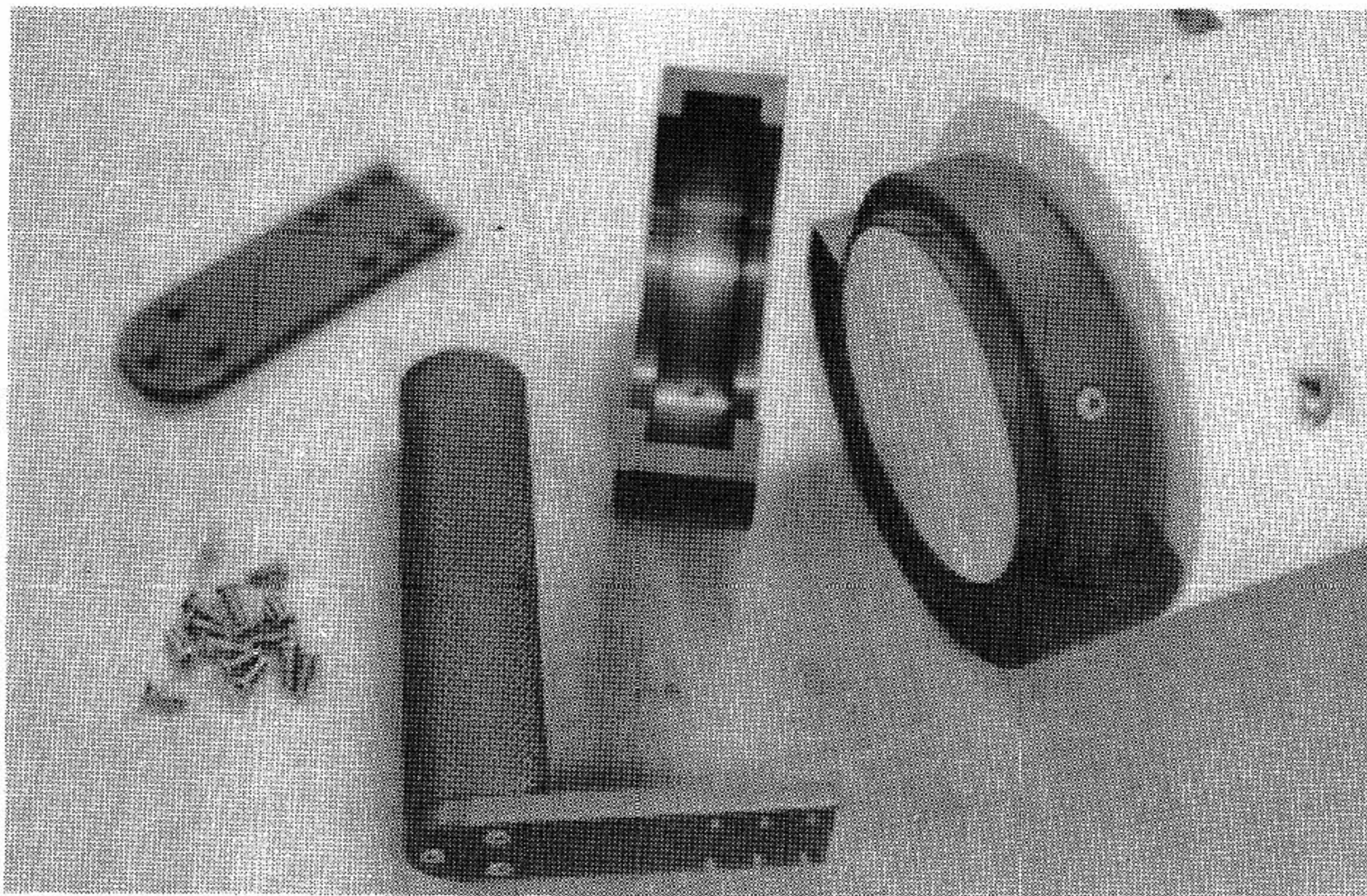


写真9 後部取手
Rear grip

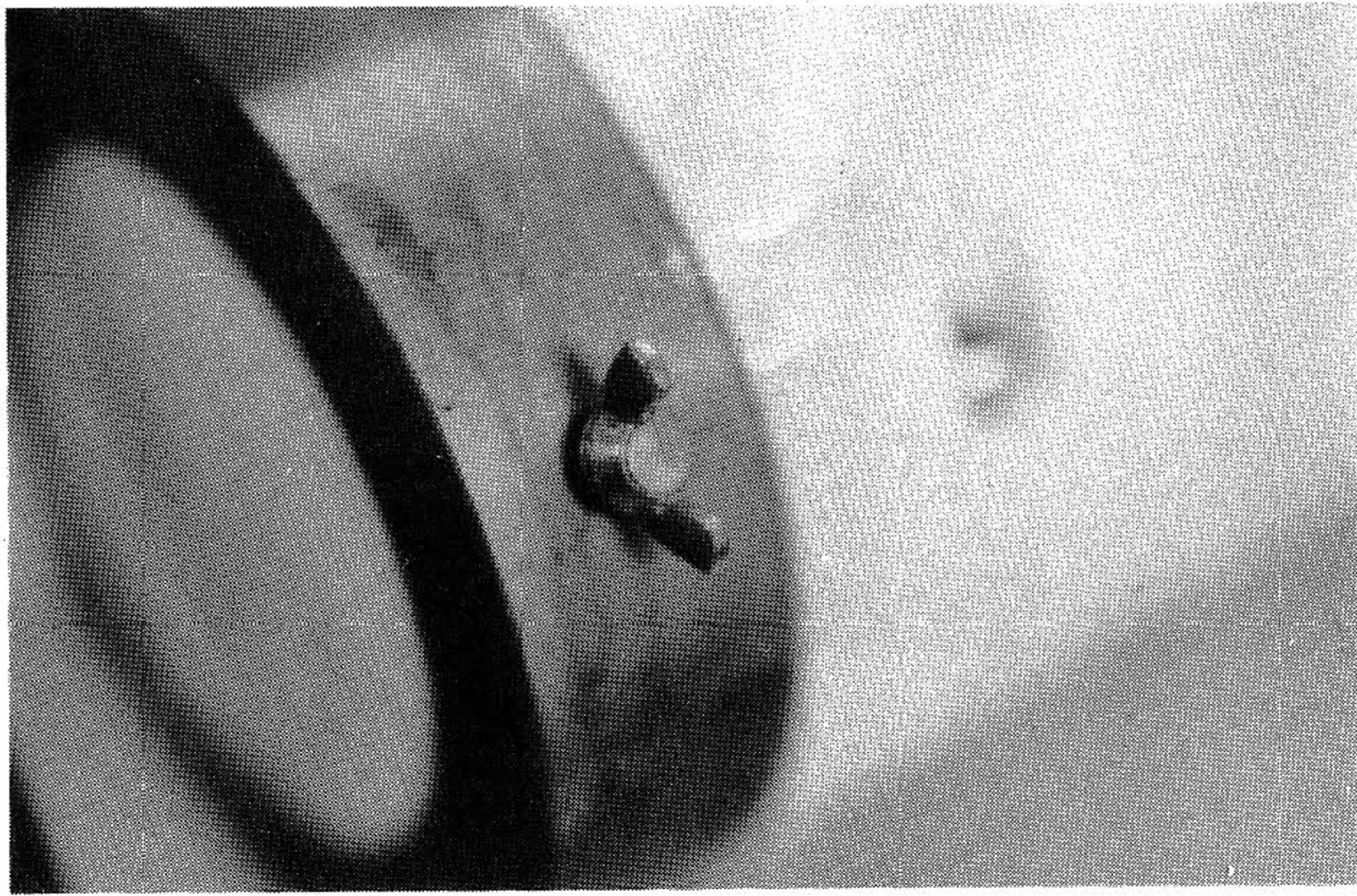


写真10 後部取手の蝶ねじ
Wing nut on rear handle

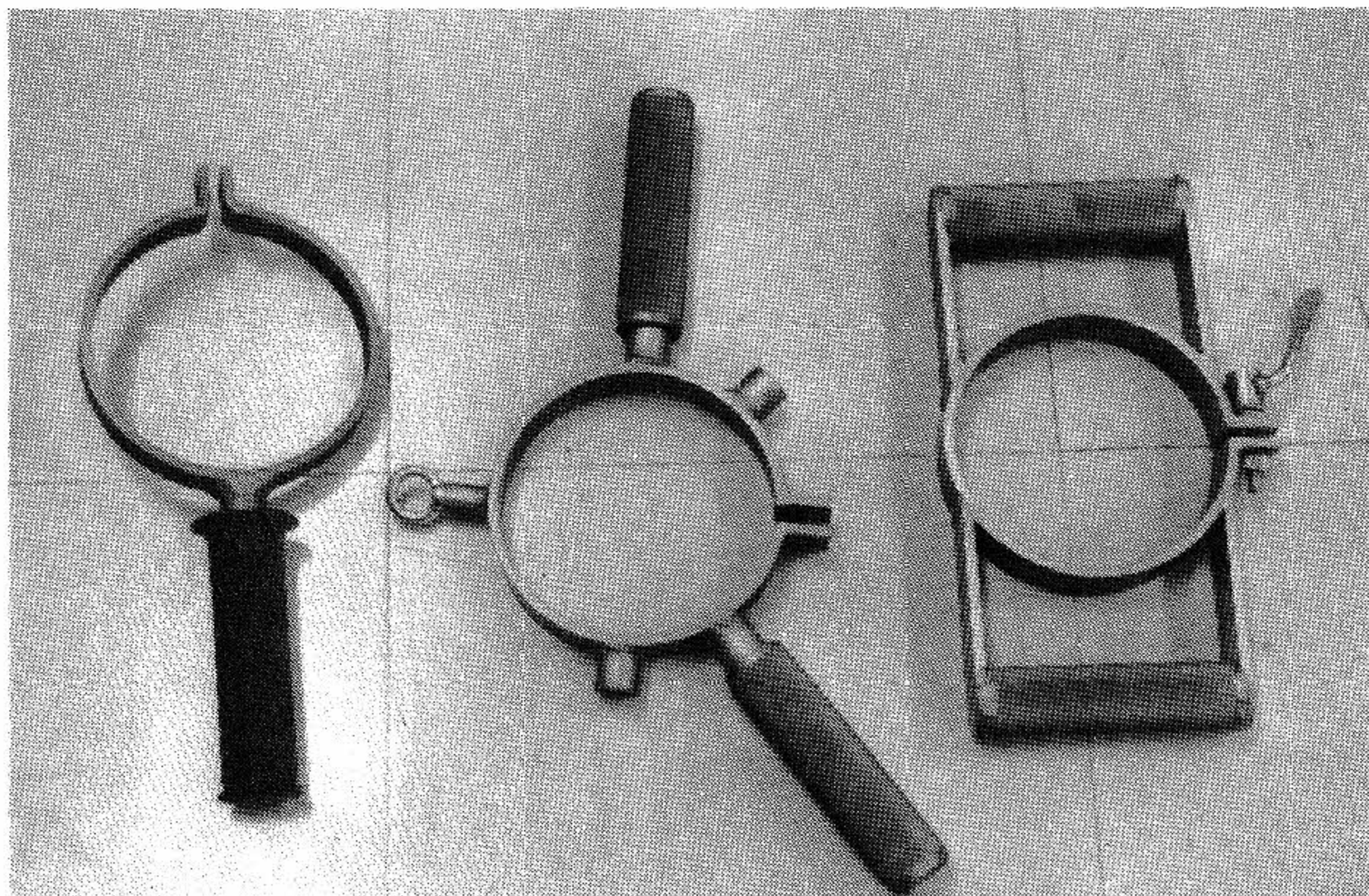


写真11 前 部 取 手
Front handle

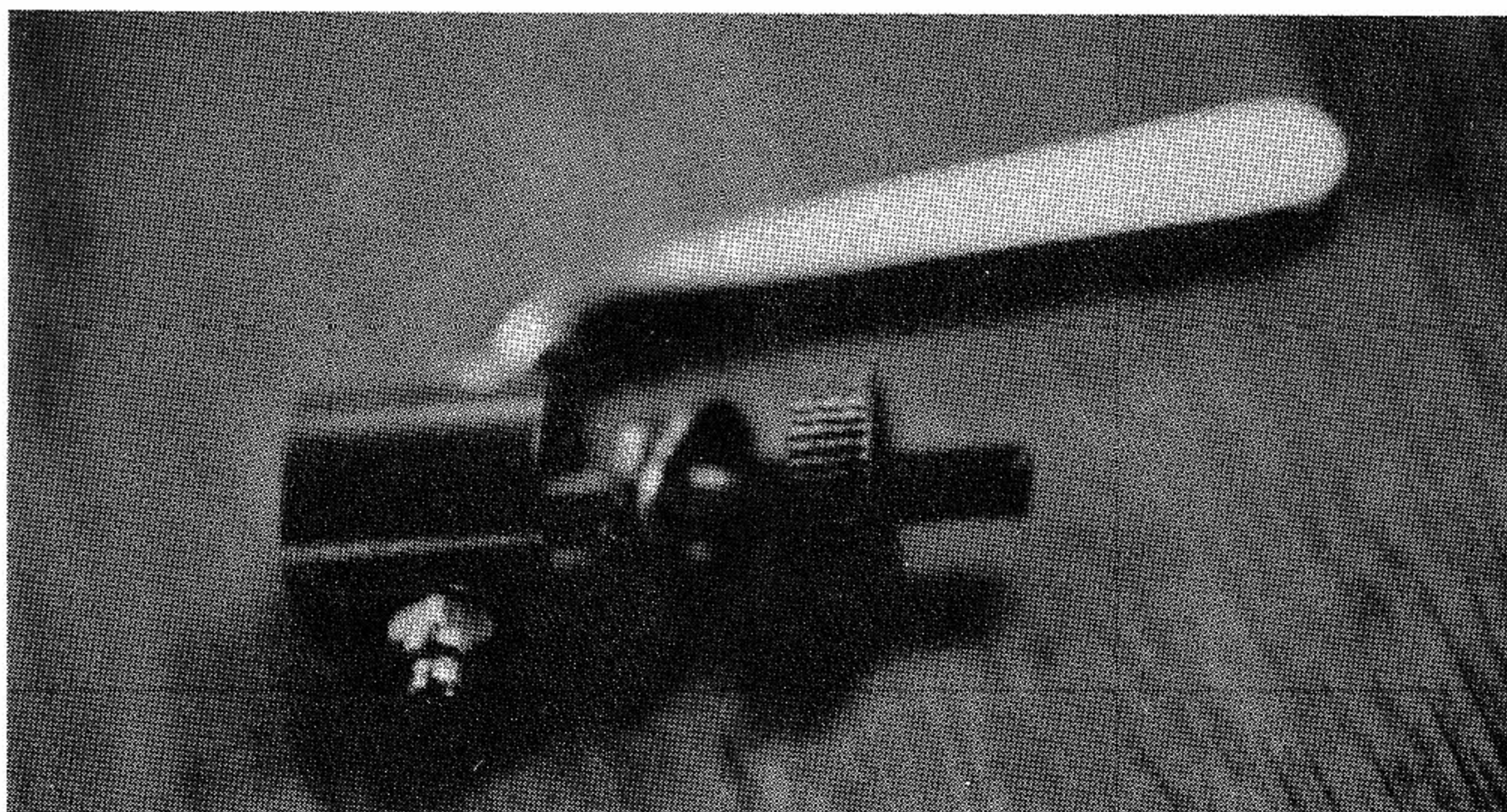


写真12 クイックスティフナー
Quick stiffener

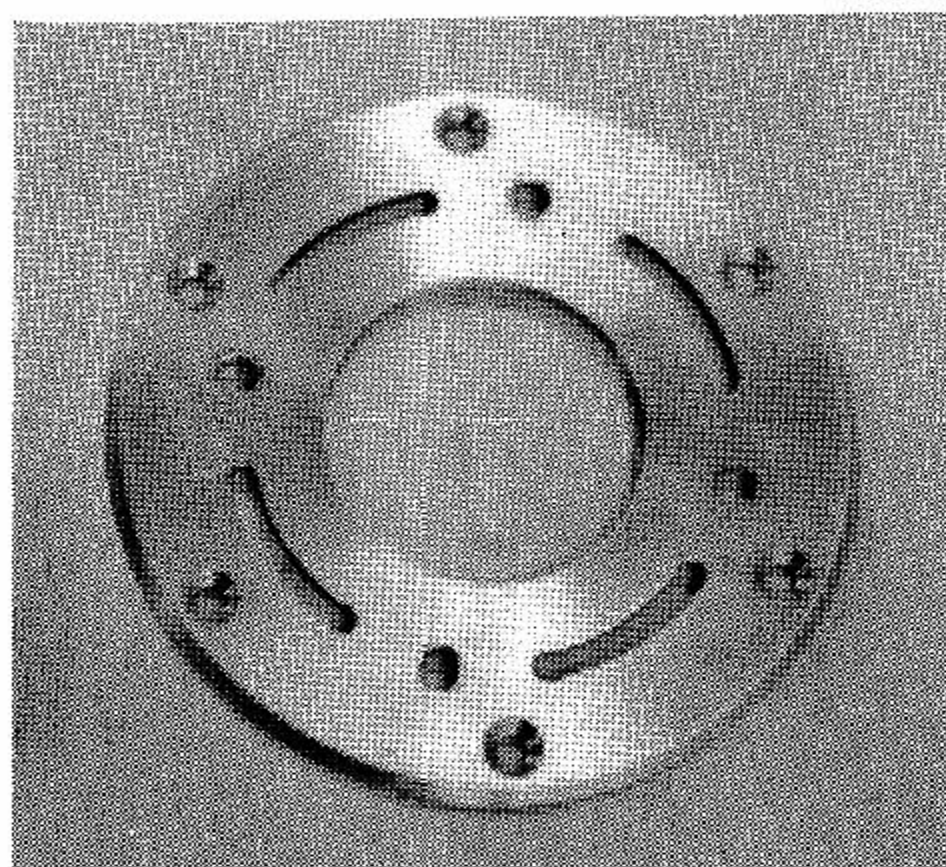


写真13 モーター前部おさえ板
Motor holder

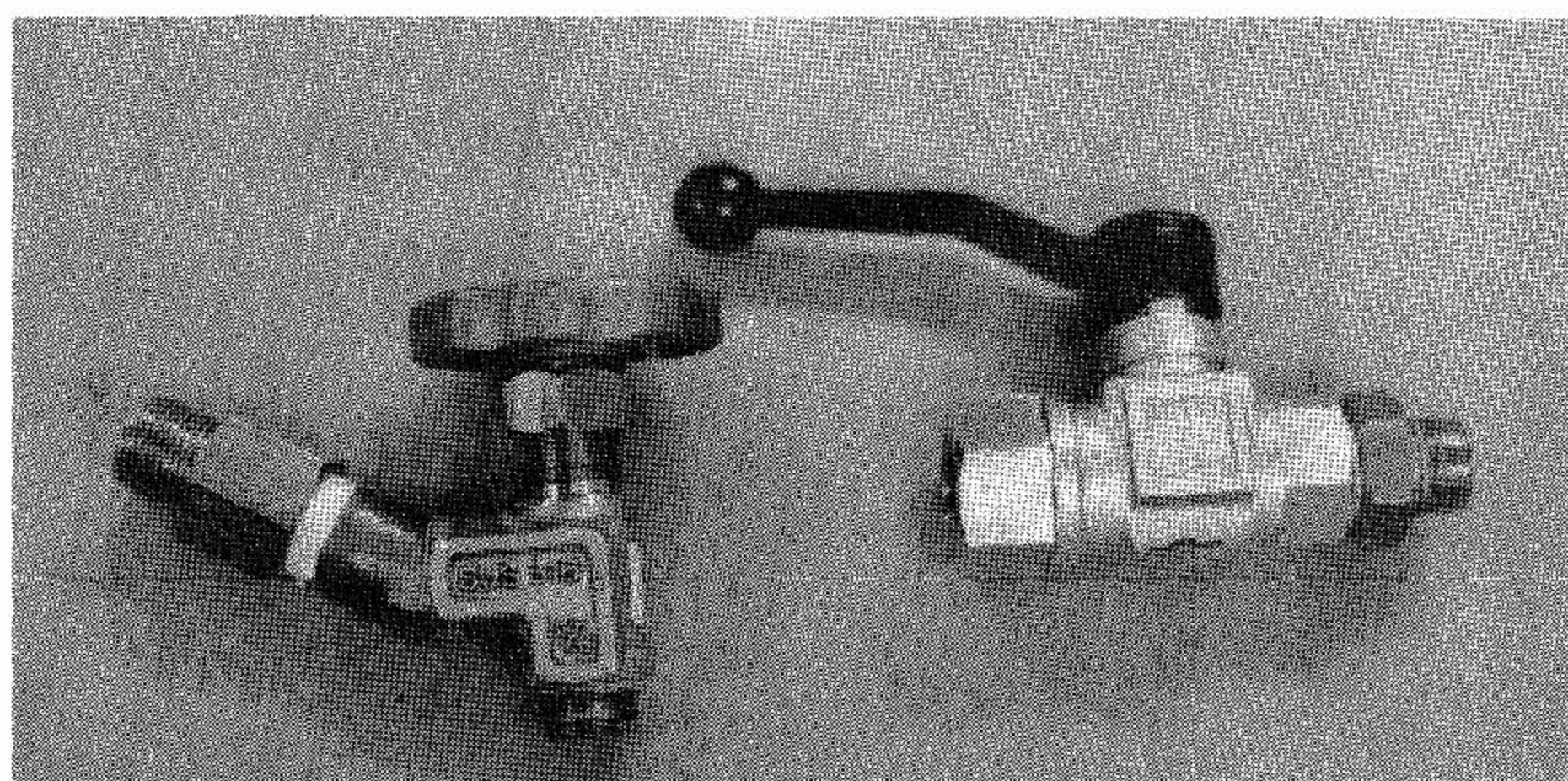


写真14 バルブ
Valves

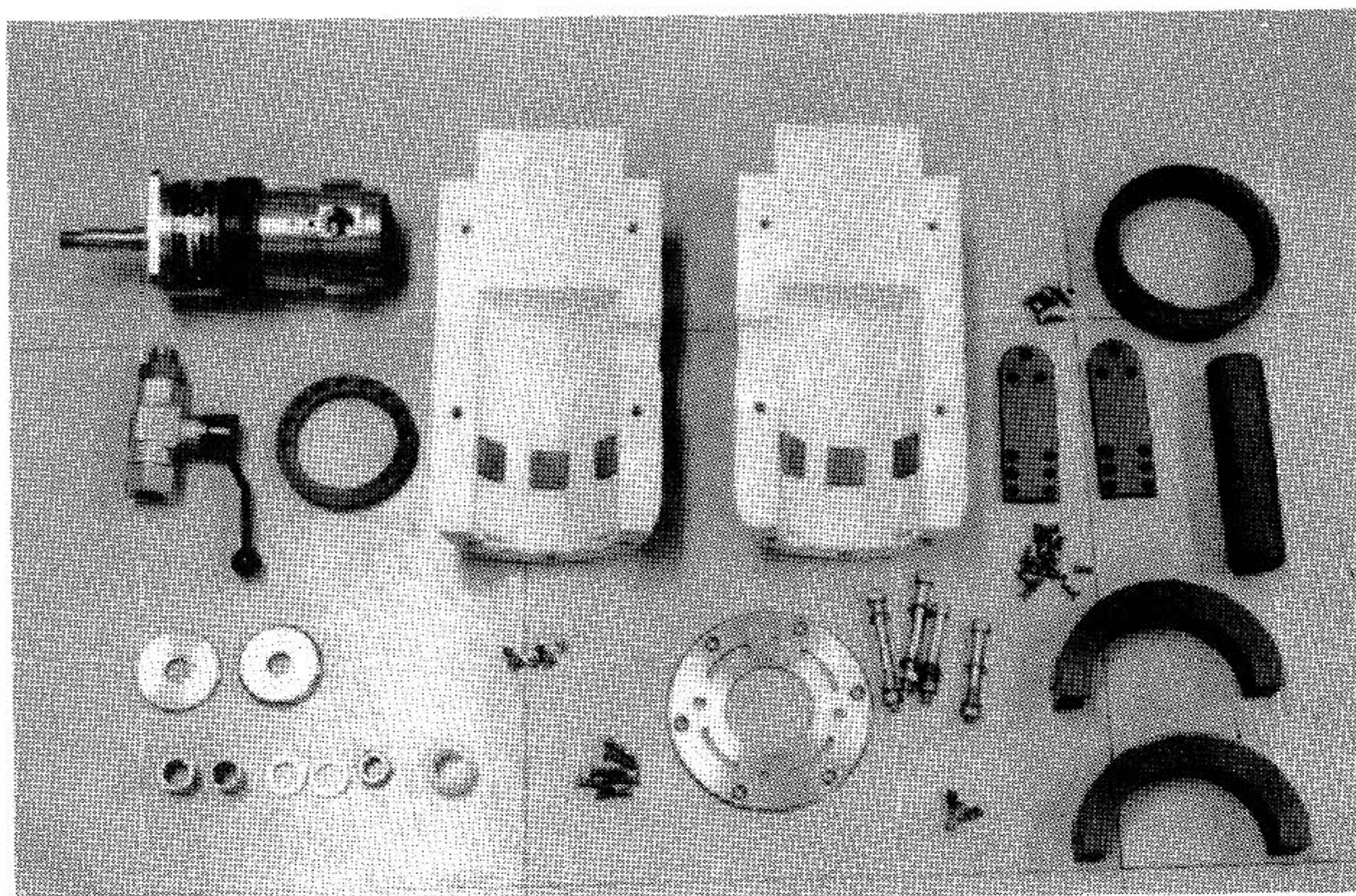


写真15 部品展開図
Seawater hydraulic tool
(completely disassembled)

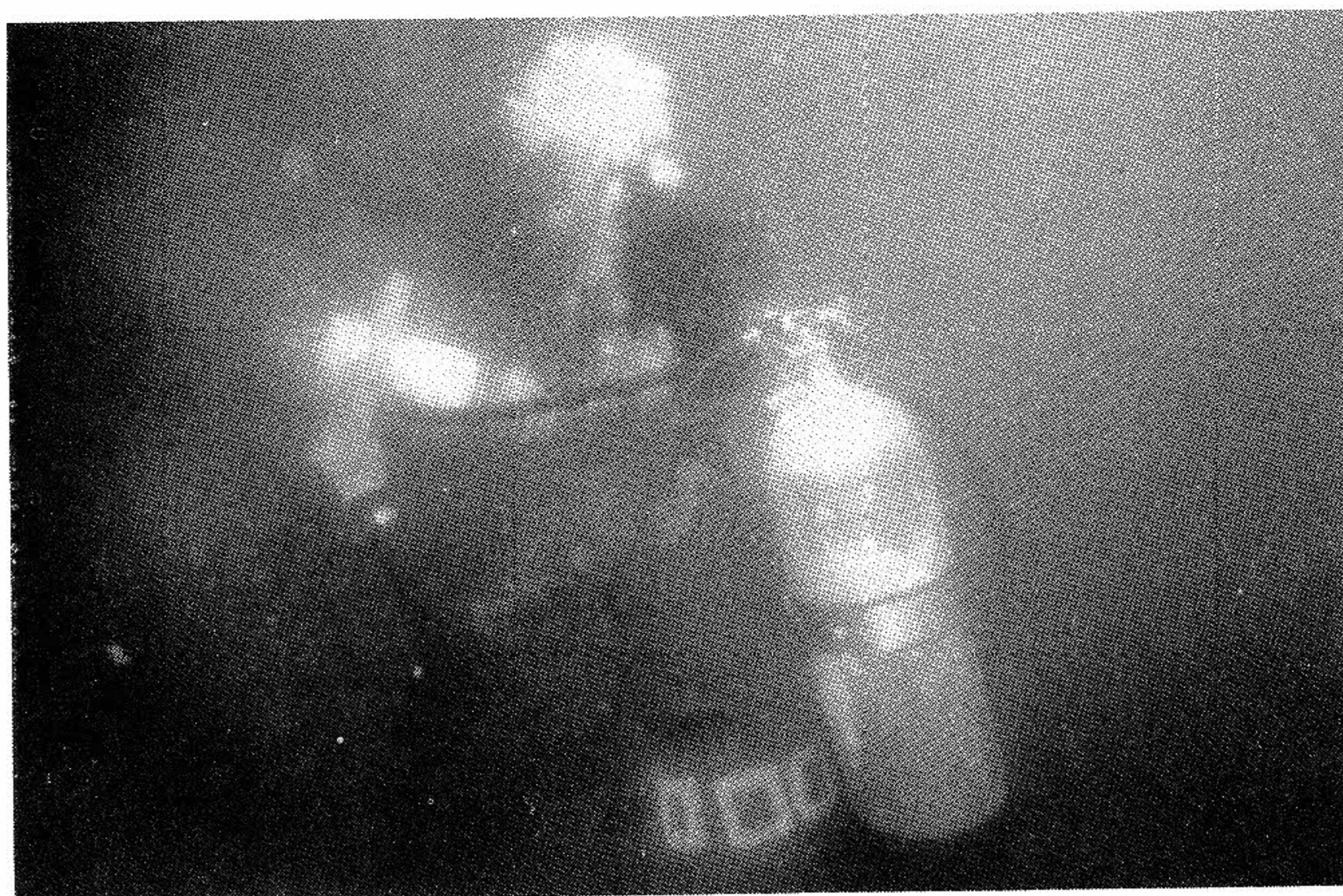


写真16 実海域試用試験
Opensea trial

スト面での問題が残されている。コストの査定を行ったところ、油圧システムより廉価であるが、工具のバリエーション（インパクトレンチ、ドリル等）がないため市場への普及が遅れている。したがって一刻も早く工具のバリエーションを多くし、それらのシリーズ化を図りパワーソース（ポンプ）も小型、軽量で可撤性のあるものとし、ユニット化されたトータルシステムとして完成させることが望まれる。

⑦ 工具本体をダイバーの腰など体の一部につけ、工具本体とグラインダー等のアタッチメントの間をフレキシブルシャフトで結合し、このアタッチメントを片手で操作して狭所作業ができるようにすることが望まれる。

⑧ 水中で使用する機器に関し、JIS等の現格が殆んど皆無である。早い規格化が望まれる。

⑨ アタッチメントの着脱を水中で容易にできるよう開発する。

⑩ 実海域での試用の結果、如何に工夫した道具を持ち込んでも、作業者の体の保持のための簡便で安全な作業用足場が必要であり、これの開発が望まれる。

6. まとめ

本工具の製作にあたっては、モックアップの製作よりはじめ、そのつど数名の経験豊富なダイバーを対象としてアンケート調査を行い、設計、改造を行った。現在最も新しいのが本稿で紹介した試作第2号機である。実海域（水深8m）での試用試験（写真16）も終え、若干の問題は残るも

の、ほぼ実用機として完成したと考えられる。今後は、残された計画年度内で、水中作業工具として最も使用頻度の高いインパクトレンチを設計、製作し、他機種についても海水圧モーターの応用を考えてゆく予定である。

本機の設計において、川崎重工業㈱神戸造船工場潜水艦設計部の金田英彦氏（元潜水技術部第2研究グループ主幹）、潜水技術部第1研究グループの高橋仁研究員の助言を得、また、試用試験およびアンケート調査において海洋科学技術センターのダイバーの方々の協力を得たことに謝意を表す。

文 献

- 1) Thurley, L. S. and Hollobone, T. A.
"Handbook of Underwater Tools", UEG Report UR18 (1981),
- 2) Hackman, D.J. and D. W. Caudy, "Underwater Tools", (1981), Battelle Express
- 3) Bhusham, B. and S. Gray, "Material Study for High Pressure Sea Water Hydraulic Tool Motors" AD-A 055609, (1978), USG. P. O.
- 4) U S Naval Civil Engineering Laboratory, "Development of A Seawater Hydraulic Tool System" (1982)
- 5) Black, S. A., "Preliminary Analysis of Seawater Hydraulic Tool Motors", NCEL Tech. Memo. 43-77-06 (1976)
- 6) 稲垣夏郎, ほか, 1977 "水中作業能力の調査", JAMSTECTR (1), 87-93