

スクラッパとその理論

東 畑 平 一 郎

ガス洗滌 (Scrubbing) は気体中に懸濁している固体又は液体の微粒子を水その他の液体に接触させることによつて分離する操作で、コークス炉ガス、焙焼炉ガスなどのダスト除去、カーボンブラックなどの微粉体の回収をはじめ化学工業に広く応用されている。混合ガスの吸収による成分分離にもスクラッパが用い

られるが、ガス洗滌とガス吸収は化学工学上明かに別の単位操作に属する。従つてスクラッピングは機械的分離の一方法として定義されている。しかし例えば接触硫酸の製造工程における洗滌塔では焙焼ダストのスクラッピングと SO₃ の吸収が同時に行われており、特に分離粒子の径が小さくなれば機構的にも極めて類似している操作であることは後述のとおりである。

スクラッピングの対象となる粒子の径は 0.1~100 ミクロン程度でサイクロンなどの慣性分離の場合より小さく電気収塵の場合よりやむ大きい。同程度の粒子の捕集に用いられる袋濾過法に比較して装置の床面積が遙かに小さく圧力損失も少なくてよい。湿式操作であるため乾式分離法のように一度分離された粒子の一部が再びガス中に同伴する恐れもほとんどない。しかしその反面例えば小麦粉や亜鉛華のように水との混合が望ましくない場合

微粒状の固体又は液体をガス中より分離する方法の一つとして水その他の液体でガスを洗滌する“Scrubbing”は、古くから用いられた操作でありながら、その重要性と可能性を看過されがちであった。スクラッパの主な形式を分類し捕集機構を挙げ、筆者の実験結果の一部を記した。

には使用することができない。多くの場合サイクロンその他の機械的分離法と併用され又はそれらの補助操作として用いられる。

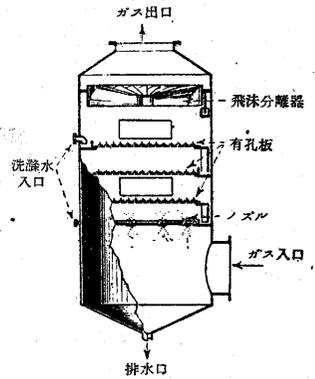
スクラッパの諸形式 (1) (2)

スクラッピングはガス吸収と同様にガスと洗滌水との十分な接触が必要であり、それを達成する方法の相

異によつて種々の形式に分類される。

(1) 気泡式スクラッパ

最も簡単なスクラッパは実験室用の吸引びんのようにガスを気泡の形で洗滌水の中を通過させるもので、工業的には泡鐘塔を用いる場合が多い。この種のスクラッパは溶解しやすいガスの吸収には時々使用されるが、気液の接触が不十分で圧力損失も大きいのでガス洗滌にはほとんど



第 1 図

第 5 卷

生産研究 10 月号 目次

第 10 号

表 紙

金森研究室におけるルツボ吹精の実験

研究解説

- スクラッパとその理論…………… 東畑平一郎… 1
- 焙鈹炉炉底における特殊吹精の予備実験……………金森研究室… 6
- 金属チタニウムの製造について……………野崎 弘…10

調 査

浅間山問題と地震計測……………表 俊一郎…16

旅行記

滞米メモから (1) ……………糸川 英夫…23

研究速報

- 超音波音場の新しい映像法…………… { 根岸 勝雄…26
鳥飼 安生
- 酸糖化麴折衷法による濃厚仕込…………… { 友田 宜孝…27
中村 亦夫
渡辺綱市郎
- 研削作用に関する研究 (第 2 報) …… { 竹中 規雄…28
笹谷 重康
- 高速度カメラによる携帯時計脱進機構の研究…………… { 植村 恒義…29
前田 秋夫

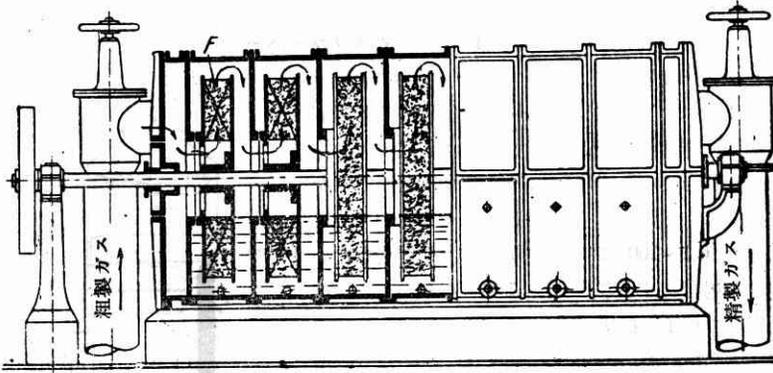
IIS NEWS

- 自動制御で賑う秋……………30
- 自動定電位電解装置の実用化……………31
- 部外活動……………32

使用されない。第1図はこの形式のスクラッパーの一例で⁽³⁾、あらかじめ洗滌水を噴射したガスを有孔板の下部より通し板上の洗滌水の層によつてガス中の粒子を捕集する。

(2) 充填塔式スクラッパー

コークス、ラシヒリングなどの表面積の大きい充填物を充填した塔の上部から洗滌水を流下させ下部よりガスを通すもので、ガスは洗滌水でぬらされた充填物の間を不規則に方向を変じながら上昇し粒子は充填物の表面に附着して洗滌水とともに流下排出される。水の代りに油を用いると更に脱塵効果を増すことができる。硫酸原料ガスの洗滌には稀硫酸を用いた充填塔が使用される⁽⁴⁾。充填塔は難溶性ガスの吸収には広く用いられるが、洗滌用としては例えば空気の浄化のようにガス中の固体粒子の濃度のきわめて小さい場合に特に効果的である。粒子濃度が大きいと捕集された粒子の排出が完全でないため塔内にたい積して作業を妨げる。第2図のスタンダード



第 2 図

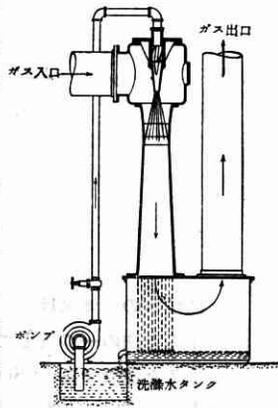
型スクラッパーは充填塔の変型と見なされるもので、回転円板の内部に充填物を入れガスは各室の中心軸から半径方向に通過する。この装置は前記の粒子たい積が少く石炭ガスの洗滌に使用されている。

(3) 液滴式スクラッパー

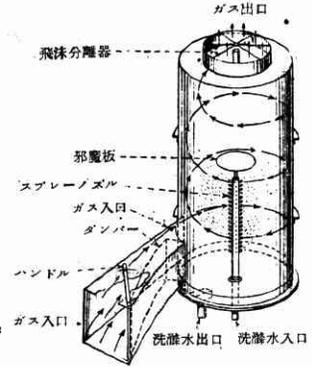
液滴式と称せられるものは気泡式と反対に洗滌液を飛沫又は液滴に分散させ表面積を増してガスと十分接触するようしたもので多くの種類がある。

a) 噴射型スクラッパー

最も簡単なものはガスを水平に洗滌室に導き上向又は下向に噴射される洗滌水の中を通過させるもので、圧力降下は僅かであるが大きい脱塵効果は勿論期待できない。たて型円筒形の塔内に上向にガスを導き、ガスと同方向、反対方向又は垂直に洗滌水を噴射し、粒子を捕集した液滴の大部分を塔の下部より排出する形のものも用いられる。この際噴射される液滴の径が、あまり小さいと沈降終速が小になるためいわゆる飛沫同伴の現象をともし一般には望ましくないが、特にミクロン以下の微粒を捕集する必要のある場合には数百ポンドの高圧ポン



第 3 図



第 4 図

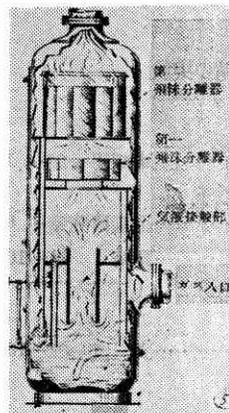
プを用いて液滴の径を小さくする⁽⁵⁾。このようなスクラッパーを fog filter と称し塔内では液滴を捕集せず塔外に導いてサイクロンで分離する。第3図はジェットスクラ

ッパーといわれるもので塔頂より洗滌水を噴射しガスと並流する。ジェットによるガスの吸引は大きくない。ジェットスクラッパーは構造上噴射水量を多くすることができるので脱塵効果はよい。最近実用化されたベンチュリスクラッパーもこの種類に分類される。円筒形の洗滌室の切線方向にガスを導入し、サイクロン作用を併用するものをサイクロンスクラッパーと総称する。サイクロンスクラッパーで噴射型に属するものを第4図に示した⁽⁶⁾。中心軸より

半径方向に水を噴射し、粒子を捕集した水滴は遠心力によりガスと分離する。

b) 飛沫型スクラッパー

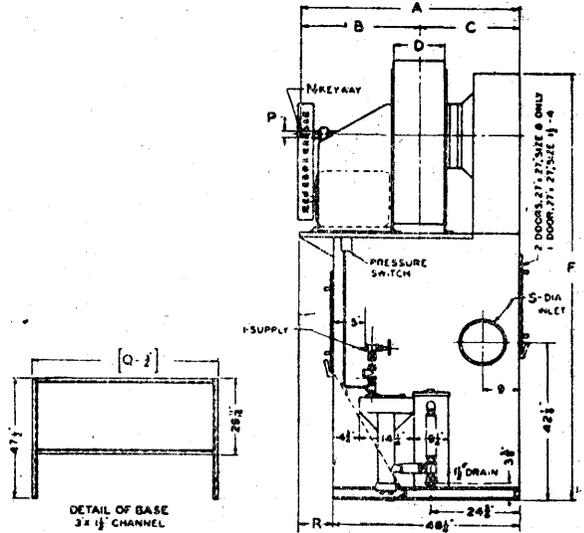
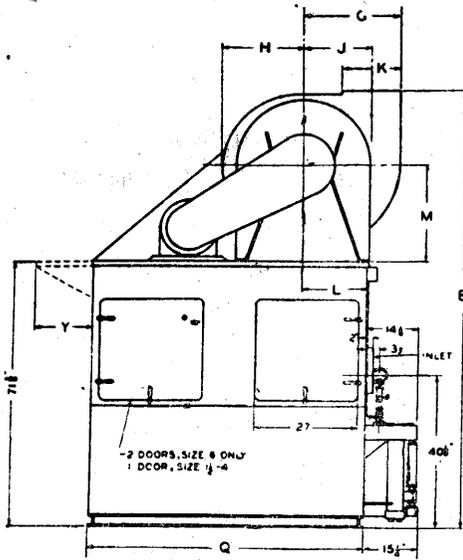
洗滌水の分散を処理ガス自体のエネルギーによつて行うスクラッパーで、ガスを高速度で洗滌水上に導き生成



第 5 図

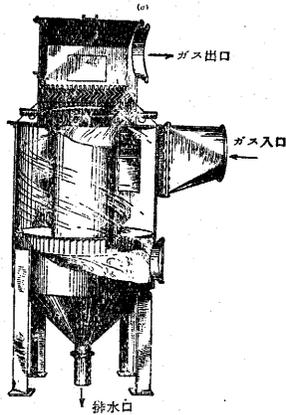


第 6 図



第 7 図

する洗滌水のカーテン又はその破壊した飛沫との接触により脱塵する。第 5 図, 第 6 図, 第 7 図はこの種のスクラッパーの例で, 第 6 図は N 型 Roto-clone と呼ばれるもののガス及び洗滌水の運動を図示している。第 7 図は同じ装置の組立図である。第 8 図はガスを切線方向に導入しそらせ板によつて洗滌水を分散するもので Hydro-clone 又は湿式サイクロンと称



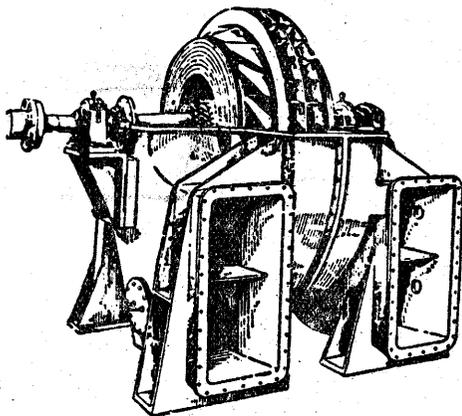
第 8 図

せられる。そらせ板を数段備えガスを下部より洗滌水と向流させる形のものもある。飛沫型スクラッパーは圧力損失の大きい欠点はあるが, 時に微細な粒子でなければ

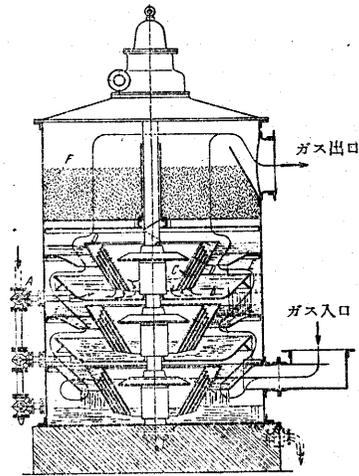
粒子濃度が大きい場合も円滑に操作することができる。

c) 機械的スクラッパー

回転羽根車によつて洗滌水の分散を機械的に行う種類で, Theisen 型 (第 9 図), Feld 型 (第 10 図) (7) な



第 9 図



第 10 図

どはその代表的なものである。機械的スクラッパーは回転翼の回転速度により容易に作業の調節ができ, 分散状態も良好であるが腐蝕性ガスに対して使用できない。鉄業関係で古くから使用されている。粒子濃度が大きい場合は翼上にたまり積るおそれがあるので予備処理を必要とする。

スクラッピングの機構 (1) (8) (9) (10) (11)

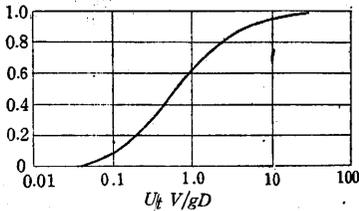
スクラッパーの形式によつて或は処理する粒子の粒度, 性質, 濃度, ガスの性質などによつて異なるが, スクラッピングは次の現象の一つ又は二つ以上の組合せによ

つて行われる。

(1) 衝突

一般に流動するガス中に障害物体が存在する時、流線はその物体の附近で急に方向を変える。ガス中に含まれる粒子は慣性のため急激に方向を変えることができず物体に衝突する。物体の通路にある粒子の中、物体に衝突するものの割合を有効衝突係数と称し、物体の幾何学的形状と無次元数 $U_t V/gD$ によって定まる (第 11 図)。

ここに U_t は粒子の終端速度、 V はガスの流速、 g は重力の加速度、 D は物体の代表的長さを示す。スクラッピングの場合障害物体は洗滌



第 11 図

水の水滴であり、衝突して捕集された粒子は水滴をガス中より分離することによりガスより分離される。スクラッパーは普通水滴の径は粒子の径よりかなり大きいのでこれらの水滴は重力により沈降させ又は簡単な捕集器で分離される。Kleinschmidt⁽⁸⁾ の理論によればスクラッパーの収塵効率を E とすれば

$$E = 1 - e^{-\kappa \eta / d} \dots \dots \dots (1)$$

ここに η は有効衝突係数、 d は水滴の径、 κ は常数である。粒子の径がミクロン以下となれば前記無次元数中の U_t が著しく小さくなるため η が小さくなり、衝突はもはや重要な役割を演じなくなる。又水滴径 d は上式により小さい方が収塵効率が高いが、あまり小さいとガスとの滑り速度 V が小さくなりやはり η を小さくするので却つて収塵率を低下させる。

(2) 拡散

粒子の径が小さい場合粒子が衝突によつて水滴表面に到達する割合が減じ、ブラウン運動による水滴表面への移行が次第に増す。0.5 ミクロン以下の粒子では拡散が支配的であるとされている。この場合ガス洗滌の機構はガス吸収と同様になる。すなわち水滴の周囲のガス境界の外側では粒子濃度は一定であり、内側では水滴表面に達する粒子が全部水滴によつて捕えられるとすれば粒子濃度は零となる。この濃度差のため粒子の境界中の移動が行われる。拡散の場合はガスとの相対速度は衝突の場合と異つて問題にならないので、水滴の総表面積が大きい程、すなわち水滴は小さい程捕集率がよくなる。ミクロン以下の微粒子の捕集を目的とする fog filter において数ミクロンの微細な水滴を生成させる⁽⁹⁾ のはこのためである。

(3) 凝縮その他

高温ガスのスクラッピングにおいて冷却の結果露点に達する場合凝縮がガスの含む粒子を核として行われることがある。しかしこれは粒子濃度の小さい温度条件の特殊な系についてのみ起る現象で一般的な機構とはいえない。気泡式スクラッパーでは気泡内のガスは静止してい

るものと考えられるから粒子は重力により沈降する。従つてこの形式のスクラッパーでは気泡が小さい程、液の深さが大きい程収塵率が良い。充填塔式スクラッパーでは粒子の分離は主として充填物表面への衝突によつて行われ洗滌水はこれを充填層より排出する作用をするものと考えられる。粒子間又は水滴と粒子との間に静電力的働くことも想像されるが理論的な裏づけはない。又洗滌水のため粒子の表面がぬらされれば粒子相互が凝集して見掛けの径を増すこともあり得る。粒子の表面が水にぬらされ易いか否かはスクラッパーでは特に大きい影響はないとされているが、筆者の実験によれば明かにその差を認め得る場合がある。

要するにスクラッピングは多数の因子によつて左右される複雑な現象で定量的な考察が比較的困難であり、装置の設計も主として経験に基いて行われている。

ベンチュリスクラッパーに関する二三の実験^{(12) (13)}

(1) ベンチュリスクラッパーとその理論

ベンチュリスクラッパー^{(14)~(20)}は数年前より米国において硫酸ヒュームの回収、酸化鉄微粉の除去などに実用化され、本邦でも最近試験的に採用されつゝある噴射型液滴式スクラッパーである。このスクラッパーはガスをベンチュリ管に導きそのスロート部で洗滌水を噴射し下流にサイクロンをおき水滴を分離するもので、装置が簡単で洗滌水量が少く収塵効率が高く、比較的粒径の小さい粒子の捕集にすぐれた性能をもっている。

スクラッピングが衝突によつて行われるものと仮定し噴射液の平均粒径が抜山氏⁽²¹⁾の式によつて表わされるとすれば放水量の小さい場合次の式が導かれる。

$$\ln(1-E) = \kappa \eta L v / \sqrt{\sigma} \dots \dots \dots (2)$$

ここに L は単位ガス量当りの放水量、 v はスロート部でのガス流速、 σ は洗滌液の表面張力を示す。(2)式より液の表面張力を減じ流速を増せば収塵率が大きくなることがわかる。放水量が大きくなると(2)式のような簡単な関係は成立しないが、理論的に E を最大にする放水量が存在し近似的に次式で表わされる。

$$\bar{L} = \sqrt[3]{(2\sigma^{3/4}/v)^2} \dots \dots \dots (3)$$

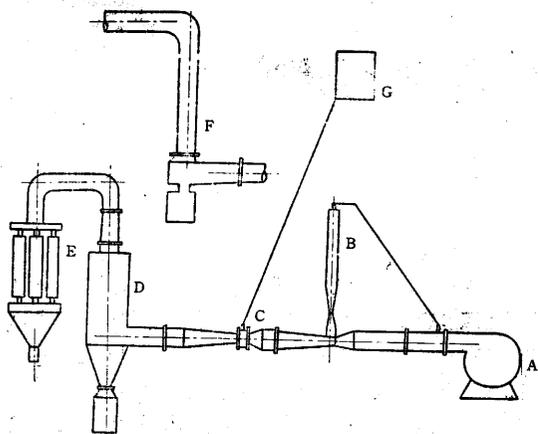
(2) 実験装置と実験結果

a) 実験装置

第 12 図は実験装置の概要を示す。

- A: 送風機 (1 馬力)
- B: 試料供給器 (ベンチュリ・フィーダー)
- C: 洗滌水入口
- D: サイクロン
- E: バツグフィルター
- F: ミストキャッチャー
- G: 洗滌水貯槽

導管内径 10 cm, ベンチュリスロート内径 4 cm で、洗滌水はスロート部の周囲に多数の小孔をうがち、貯槽の高さと孔数により水量を調節した。試料はカーボンブラック、満洲タルク、硫黄粉末などを用いた。



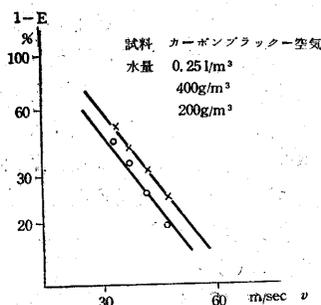
第 12 図

b) 実験結果
(粒子濃度)

粒子濃度は 300 g/m^3 程度まではほとんど捕集率に影響せず、それ以上の濃度では徐々に低下させる。実際の操業ではこのように高い濃度で作業することはないのでガス中の粒子濃度は捕集率に無関係と見てよい。

(スロート流速)

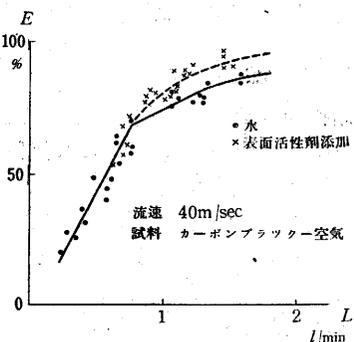
流速が増せば捕集率を増すが、同時に圧力降下も大きくなるので実際には適当な流速 (普通 $50 \sim 70 \text{ m/sec}$) を選ぶ必要がある。第 13 図は前記 (2) 式の関係が大体満足されることを示す。



第 13 図

(放水量)

放水量はある程度以上増しても捕集率に影響しない。(3)式より流速を 44 m/sec とすれば最大捕集率を与える水量は 1 l/m^3 で、実際には $0.5 \sim 0.7 \text{ l/m}^3$ 程度で十分である。第 14



第 14 図

図は放水量と捕集率との関係を示す。

(洗濯水への添加試薬の影響)

第 14 図に示すように洗濯水中に表面活性剤を添加しその表面張力を低下させると捕集率を増す。添加量を加減して表面張力の種々の値につき他の条件を同一にして測定した結果は前記 (2) 式を満足する結果を与えた。故に表面活性剤の添加による捕集率の増加は液滴の分散

度の増加に帰因すると考えられる。表面活性剤は 0.05% 程度加えれば表面張力が半分以下となり添加量が少なくてよいから実用的な意義もあると思われる。

以上ベンチュリ・スクラッパに関する筆者の研究結果の一部を記した。筆者は他の形式のスクラッパについても実験中であるが、ベンチュリ型は特にすぐれた能力を持っているようである。

結 語

スクラッパの主な形式を挙げその捕集理論を説明し、ベンチュリスクラッパに関する実験の二三の結果について述べた。スクラッピングは最近の化学工業における粉末に関する技術の進歩とともに今後更に重要な操作となるものと思われる。又古くからの問題であるが工場煤煙の浄化に例をとつても、適当なスクラッパの使用によつて低コストで目的を達することができるはずであり、現在慣用的に用いられている脱塵装置についてもスクラッパを含めてなお再検討の余地が十分あるものと考えられる。(1953. 8. 31)

文 献

- (1) Perry: Chemical Engineers' Handbook, 3rd ed., p. 1035.
- (2) Miller: Chem. & Met., 45, 132, 1938.
- (3) Harman: J. Inst. Fuel, 12, 514, 1938.
- (4) 硫酸便覧 p. 501.
- (5) Hudson: Heating & Ventilating, No. 3, 57, 1951.
- (6) Kleinschmidt: Trans. Am. Inst. Mech. Eng., 63, 349, 1941.
- (7) Berl: "Chemische Ingenieur Technik", Bd. 3, s. 518.
- (8) Kleinschmidt: Chem. Met. Eng., 46, 487, 1939.
- (9) Sell: Forschungsheft, 347, 1931.
- (10) Johnstone: Ind. Eng. Chem., 41, 2417, 1949.
- (11) Ekman: Ind. Eng. Chem., 43, 1358, 1951.
- (12) 東畑: 土粉体粒体聯合講演会報告, 昭27, 12月。
- (13) 東畑: 日本化学会第6年会報告, 昭28, 4月。
- (14) Collins: Paper Trade J., 45, June 5, 1947, 45, Jan. 15, 1948, 19, Sept. 1, 25, Sept. 8, 1949.
- (15) Jones: Ind. Eng. Chem., 41, 2424, 1949.
- (16) Jones: Heating & Ventilating, No. 4, 70, 1949.
- (17) Jones: Steel, July 30, 70, 1951.
- (18) 山内: 化学工学 17, 30, 1953.
- (19) 矢木: 機械学会誌, 54, 388, 176, 1951.
- (20) 吉岡: 硫酸 4, No. 10.
- (21) 抜山: 機械学会誌, 4, No. 14, 86, No. 15, 138, 1938, 5, No. 18, 63, 68, 1939, 6, No. 22, II-7, No. 23, II-8, 1940.