

自働算盤

和田 英一 ((株) IJ イノベーションインスティテュート)

自働算盤の基本構造

機械式ロジックのセンスがある人なら容易に想像できるように、十進法の機械式計算機では、各桁について、歯数 10 枚の十進歯車を作り、その桁に $0 \leq n \leq 9$ を足すには、歯車の面内の n 本のピンでその歯車を回すことになる。

この機構として、典型的なのは、出入り歯車 (pin wheel) と段付き歯車 (stepped drum) である。タイガー計算器や Brunsviga は出入り歯車であったし、Leibniz の計算機や Curta¹⁾ は段付き歯車である。ところが、矢頭良一 (1878 ~ 1908) の工夫した自働算盤 (パテントヤズアリスモメートル) の機構は大変ユニークであった。

自働算盤では、十進歯車の面の近くに、十進歯車の軸と平行な回転軸に、9 本のピン (矢頭の用語では算杆) が放射状に立ち並ぶ (図-1)。各ピンは左右に僅かに離れた安定点を持ち、左に振れたとき歯車の面に入り、右に振れたとき歯車の面から離れる。したがって 9 本のピンのうち、 n 本のピンを左に寄せて回転すると、 n が足される仕掛けである。自働算盤は (特許に十進杆が 7 個と書いてあるので) 十進 8 桁だから、合計 72 本のピンがあり、これをいちいち左右に人手で動かすのは面倒であり、そこに矢頭のアイデアがあった。

各桁のピンの下の 5 本は一括して動き、その一番上の

代表のピン 5 を左へ寄せると、5 本全部が左に寄る。その上の 4 本は、下から 1, 2, 3, 4 のピンで、1 のピンを左に寄せると、1 のピンだけが左に寄る。2 のピンを左に寄せると、1 と 2 のピンが左に寄る。4 のピンを左に寄せると、1, 2, 3, 4 のピンが一斉に左に寄るのである。図-1 で、ピン 4 から 3, 2, 1 へ向かう黒い弧は 4 に固定され、4 を左 (図では紙から浮き上がった方向) へ押すと、その弧に押され、3, 2, 1 のピンも左へ寄る。つまり、 $1 \leq n \leq 5$ なら、 n のピンを左へ寄せ、 $6 \leq n \leq 9$ なら、5 のピンと $n-5$ のピンを左に寄せるのである。これが矢頭の自働算盤は入力が二五進法 (bi quinary) と誤解される理由である (図-1 で、9 本の入力ピンの両側にある C のピンは、繰上げ用であり、人手では動かさない)。

しかし実は二五進法とは違う。図-2 で、a は二進の加算器で、各桁の入力も状態も 0 か 1 で、キャリーが伝わることを示す。b は十進である。c が二五進法だが、自働算盤は d で、入力だけが二五進まがいであって、状態は十進である。

自働算盤の特許 6010 には「算杆 (リ) ヲ五トシ算杆 (チ) ノ下端一列ヲ一トシ上ルニ従ヒ二、三、四トナス故ニ仮令百三十七ト置クニハ定位盤中適宜ノ場所ニ於テ左方ヲ上位トシテ算杆 (チ) ノ最下端ヲ左ニ扁セシメ次行下端ヨリ三列目ノ算杆 (チ) ヲ又左ニ扁シ次行ノ算杆 (リ) ト算杆 (チ) ノ最下端ヨリ二列目ノモノトヲ左ニ扁セシム」と書

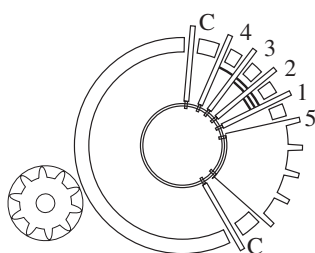


図-1 自働算盤のピンの構成

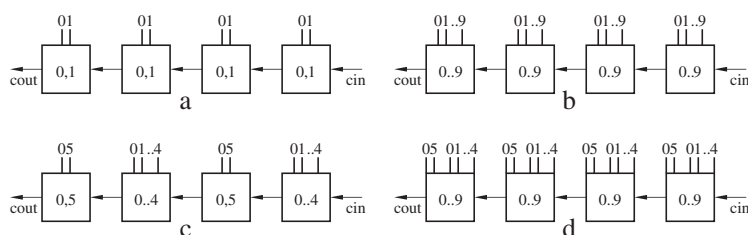


図-2 二五進法加算器

いてある((リ)や(チ)については、図-4 参照)。

左に寄せたピンは、加減算が終わった時点で、復位杆により、自動的に右にリセットされる。もちろん乗除算では、同じ乗数、除数をなんども使うので、リセットしない方法がある。

図-3 が情報処理技術遺産の Web ページにある、自働算盤の写真である。手前の本体の中に見えるのが廻転筒である。黒い凹形の並んでいるのが、ピン(算杆)の左右に動く部分で、凹の文字の右上と左上が安定点である。前述のようにこのピンで十進歯車を直接駆動する。向こう側が、タイガー計算器でいえば、キャリッジに相当する。進退函で、「数多ノ」表数車が並んでいる。名前から分かるように、キャリッジ同様、左右に動く。しかし、タイガー計算器と違い、手前で数値をセットし、演算結果は真上から見ることになる。またタイガー計算器ではキャリッジに、左と右の2組のレジスタがあったが、自

働算盤では表数車の列は1組しかない。しかし乗除算に使うために驚くべき機構が用意されている。

要するに、できるだけ手を省き、しかも実用になる計算機を目指したものであった。

自働算盤の詳細

自働算盤の説明は、山田氏による報告²⁾のほかは、2つの特許によるしかない。明治35年3月に出願され、36年1月に特許になった、本来の特許第6010号と、明治42年2月に発願され、同年6月に特許になった、6010号の追加ともいべき改良版の第18119号である。今回の解説は、もっぱらそれらによる。

それらを詳細に読むと、自働算盤の様子が判明する。

特許の添付された図-4を見ると写真(図-3)と違うところがある。まずハンドル(ア)は、特許のはコの字をし



図-3 自働算盤(国立科学博物館提供)

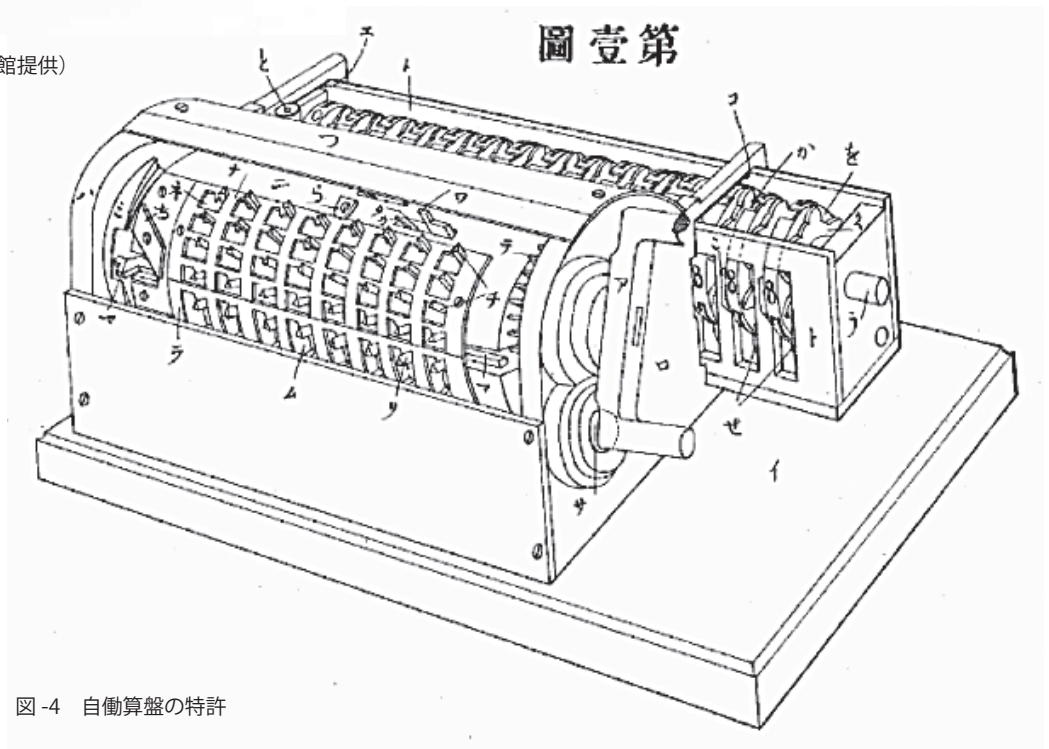


図-4 自働算盤の特許

ているが、写真では、タイガー計算器風のハンドルである。また蝶ネジのリセットが写真に見えるが、図には見当たらない。改良版の特許のハンドルは写真のように変わっているし、改良版では、表数車のリセットは、軸を回転するとなっているから、回転のために蝶ネジがついたのかもしれない。

この説明では、最初の特許に従う。前述のように廻転筒(ニ改良版では回転筒)には、8桁の算杆(チとり)がある。したがってその間の繰上げを処理する、7桁分の加算用と減算用の十進杆(ワ)が雁行形についている。

表数車(を)には0から9の数字が、利用者から見て向こうに行くが増えるように書いてある。つまり、表数車とそれと一体の十進歯車は加算のとき、手前に回転し、したがって廻転筒は、向こうへ回転する。減算では、逆になる。

ハンドルには大歯輪があるというから、ハンドルの半回転で廻転筒が1回転するのであろう。算杆のいずれかが左へセットされると、筒の中にある復位杆(マ)が左に押し出されるが、これは回転に伴い、左の架台の内側の坂(ミ)で押し返され、その力で算杆を元に戻している。

算杆が進退函(ト)の方に回って行くと、表数車の隣りの十進歯車(カ)を、足すべき数だけ回す。繰上げ処理は次のようだ。図-5 bのように、表数車の7の内側に突起がついている。aで分かるように、真上に9と0の間があると、正面には7が来るからだ。その上にcのように、抽出杆を重ねる。これは左右に移動でき、通常は右に寄っている。抽出杆には黒丸で示す棒があり、ちょうど繰上げのときに、突起に当たり、これにより抽出杆が左へ押し出される。抽出杆の先端は楔状の斜面で、それにより回ってきた十進杆が左に押され、1桁上の十進歯車を回転する。押し出された抽出杆は、廻転筒の算杆の裏側にある、摺動板に押されて復帰する。

十進杆はキャリアを次々と上げていくが、廻転筒の最後の桁からは伝搬しない。その代わりに、左の架台のすぐ内側の、廻転筒と十進歯車の中間に、廻転筒の軸にあるのと同じ歯数の歯車があり、この中心から出た棒(懸杆)が十進歯車を1回転に一度反対方向に押し回す。この桁を左端桁といおう。

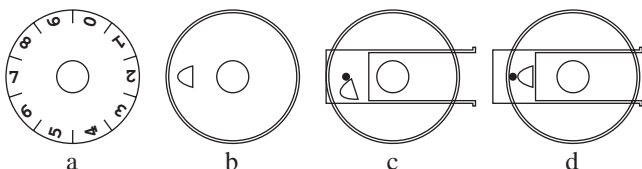


図-5 繰上げの機構

これが自動算盤のユニークなところで、たとえば12×16を計算するなら、左端桁の表数車に12を設定する。右手の表数車はリセットしておく。廻転筒に算杆で16を設定する(図-6 a)。加算の方向にハンドルを回すと、右手の表数車に16が足され、左の12は11になる(b)。さらに加算すると、右は32になり、左は10になる(c)。左端桁が0になったら、進退函を右へ1桁移動し、1を左端桁に置く(d)。さらに加算すると、この1は0になり、右手の積は192になる(e)。

この反動分子は、除算にも活躍する。すなわち192を16で割るには、右手の表数車に192を入れる。廻転筒に16を被除数の19の位置に置き、減算方向に回転すると、部分剰余は32になり、同時に左端桁の表数車には1が入る。進退函を左へ1桁移動し、32の位置に除数16を合わせ、減算を2回行うと、さらには引けなくなり、一方左端桁には商の12ができています。乗算のまったく逆なので、図-6を右から左に眺めればよい。

また、自動算盤の解説には、「乗除の際の桁送りが自動的で(つまり進退函が自動的に左右に動き)、演算終了時に動作が自動的に停止する」と書いてあるがこれは何か。

改良版の特許には、それらしい説明があるが、難解でもある。乗算の場合、乗数が0にまで減ったときに、進退函を右に動かすことになる。0まで減り、さらに減らそうとすると、繰上げ用の抽出杆が進退函から廻転筒の方へ飛び出してくる。廻転筒の端に、螺旋状の溝があり、飛び出した抽出杆がそれに絡まり、進退函が移動するというのだ。さらにこれと同様な機構で、ストッパーにも当たり、それ以上の回転は阻止されるということらしいが、なにか1回余計に回りそうにも思え、また除算でも同様にいくかという点が不明である。

自動算盤の見学

自動算盤は、小倉にある北九州市立文学館に保管されている。ここは本来、北九州に関係ある作家、俳人などの書や句を収集し、展示する施設だが、その導入展示の中心に自動算盤が置いてある。

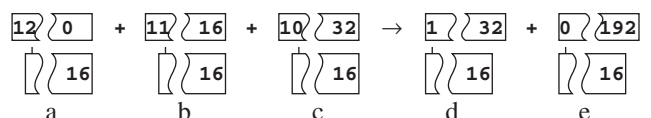


図-6 乗算法(廻転筒左端のピン1本は逆回転)

東京 ↔ 小倉は新幹線のぞみで4時間45分なので、日帰りて文学館を訪問し、同館のご好意により、詳しく見ることができた。

まず大きくて重いものであった。タイガー計算器の倍くらい重く感じた。そして、予想通り、改良版の特許による製品であった。

この計算機のそもそもの発見は、計算機屋かく戦えり³⁾の内山昭氏の記事にある。すなわち内山氏は森鷗外の「小倉日記」⁴⁾に、矢頭良一が自働算盤を持参したという日記を見つけ、自働算盤を探し続ける。一方、昔黒い手回し計算機を見たという人に会い、それを手がかりに久富家に計算機があることを突き止める。同家を訪ね、修理し動作するようにしたという。確かにハンドルは回るし、進退函も左右に動く。進退函は1桁ごとに離散的に動くはずだが、するすると連続的に動いてしまうので、止めるバネ類が外れていると考えられる。一方、廻転筒をまわすハンドルも、算杆が手前に向いて並ぶような定位置で停止するわけだが、算杆部が重いせいか、くると回っていく。

そういう次第で、いまは計算ができるような状態ではなかった。したがって、1桁分の乗除算が終わると、進退函が自動で1桁動くという動作は確認できなかった。

表数車の数は、18であった。したがって22枚の歯車の根拠は、表数車についている十進歯車が18；廻転筒の右側の回転軸の歯車と、それと噛み合うハンドル軸の

歯車；左側の回転軸の歯車と、それに噛み合う左端桁を駆動する懸杆を回す歯車であった。

写真のいくつかを説明する。図-7は算杆の並びで、定位盤に開けた凹の形の穴が、算杆の安定位置を決める。遺産の写真を見たときから、左が下がっているような気がしたが、実際に穴と定位盤の上端との差は、右端で3ミリ、左端で13ミリあった。

図-8は、5の算杆の部分から右から見たもの。一番上から3本が定位盤の同じ穴から出、次は別の凹にあり、一番下は定位盤にも入っていない。

図-9は、穴から覗いているのが復位杆で、いずれかの算杆が左に寄ると、復位杆も左に押され、左から飛び出している鉄の部品の右端の向う側のくさびで押し返される。

図-10は、乗除算における、進退函移動機構である。乗算では、廻転筒を向こうへ(ハンドルは手前へ)回して、進退函は右に移動。除算では、廻転筒は手前へ回し、進退函は左に動かすから、この斜線は同一方向である。

図-11は、進退函を裏から見た図で、背面から18個の抽出杆が飛び出している。計算中に、背面から見ていると、それぞれ桁の抽出杆が、自動ピアノの鍵盤のように、引っ込んだり、飛び出したりするはずである。中央辺にある覆いが左端桁の位置になる。

図-12は、進退函を前面から見た各桁で、それぞれに左から抽出杆、十進歯車、表数車が見える。十進歯車と

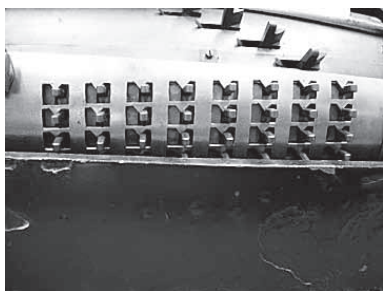


図-7 算杆の並び。左ほど下にある

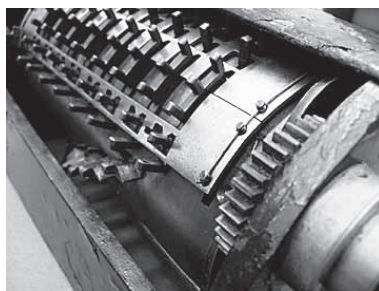


図-8 5の算杆の並び

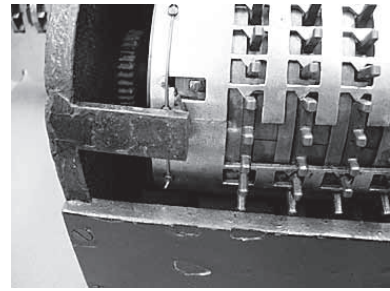


図-9 復位杆

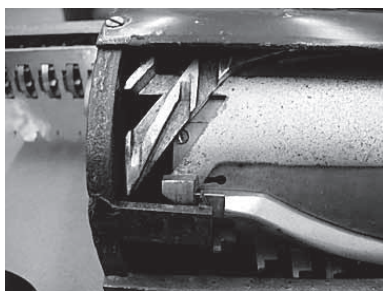


図-10 進退函移動機構

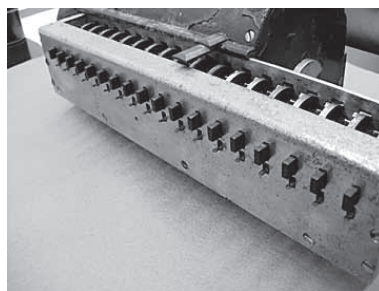


図-11 抽出杆の並び。18桁ある

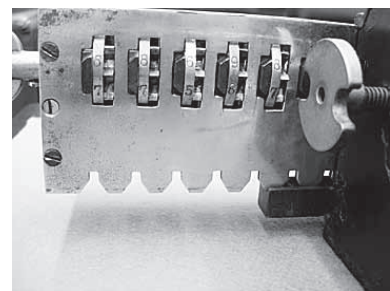


図-12 進退函。各桁の抽出杆、十進歯車、表数車

表数車は一体にできている。その下ののれんのような切り込みが、1桁ごとに位置決めする機構なのだが、前述のごとく機能していない。

計算機ビジネス

矢頭は飛行機研究の資金を稼ぐため、計算機の開発を始めたといわれる。1台250円で200台販売し、5万円を得て、飛行機の研究に移ったらしい。

私の大学院時代の恩師、高橋秀俊先生の父上、高橋穰氏（たかはしゆたか 1885～1968 心理学者 第一高等学校 東北帝国大学教授）が逝去された折、同氏の著作集⁵⁾がまとめられ、私も1冊いただいた。その中に「元良勇次郎博士（もとらゆうじろう 1858～1912 心理学者 東京帝国大学教授）の心理学の基本思想」なる一文があり、そこに「(元良博士は) 明治十二年春、上京して津田仙氏の経営する学農社の教師となり、また十四年四月和田正幾氏と共に築地に東京英学校といふのを設立しましたが、それは青山に移り東京英和学校と改称し、十七年青山学院となりました。それで博士は青山学院の前身を作ったこととなります。当時(明治17年なら1884年)博士は計算機の発明に苦心して居りましたが、それによつて学

資を得て洋行する志を抱いて居たのです。」と書いてある。

矢頭の計算機は1902年だから、元良氏の計算機はそれより20年も前のことになる。これで分かるのは、当時計算機がビジネスになると考えた人がいたということだ。

参考文献

- 1) <http://www.vcalc.net/cu.htm>
- 2) 山田昭彦：矢頭良一の機械式卓上計算機「自動算盤」に関する調査報告、国立科学博物館技術の系統化調査報告5, pp.271-287 (2005).
- 3) 遠藤 論：新装版計算機屋かく戦えり、アスキー (2005).
- 4) 森鷗外全集13 独逸日記／小倉日記 ちくま文庫Cコード0193 自動算盤に関係する部分は三輪さんのWebページ <http://homepage2.nifty.com/Miwa/Historic%20Computer/Yazu.html>にある。
- 5) 高橋秀俊編：高橋穰小論集、青河書房(1968).

(平成21年12月3日受付)

和田 英一 (名誉会員)

wada@u-tokyo.ac.jp

1955年東京大学理学部物理学科卒業。東京大学工学部、富士通研究所を経てIJJ技術研究所所長。Happy Hacking Keyboard、和田研フォントの開発に関与。IFIP WG2.1, WIDEプロジェクトメンバ、プログラミング・シンポジウム委員長。

