

物質収支計算用パソコン・ソフト「YTAP-Σ」

Material Balance Calculating System "YTAP-Σ"

Material balance calculation is indispensable to the engineering/design work of water treatment facilities. Shinko-Pfaudler has developed for personal computers a new system "YTAP-Σ" which enables such calculation quickly and pricesely.

Furthermore, the system can perform case study in determining the most advantageous process for each design basis and forecast the result in the wake of fluctuations in quality/quantity of influent water.



(環)技術部 計画第3課

山 田 章
Akira Yamada
田 中 葉 子
Yoko Tanaka

ま え が き

水処理は多種多様である。下水・工場廃水の処理、純水・超純水や上水・用水の供給、さらには、汚泥の処理などがあり、また除去対象別にみると、重金属、SS、BOD、油分、イオン、N・P、菌類……の除去など、バラエティーに富んでいる。

従って、水処理設備もまた多岐にわたる。薬注、沈殿、浮上分離、汙過、濃縮、イオン交換、RO、活性汚泥、接触酸化、嫌気性消化、脱水、脱臭などである。

一般に、水処理プラントはこれら個々の設備（以下、「単位操作」と呼ぶ。）の組合せであり、入口と出口の水量・水質を与える、もしくは仮定することにより「単位操作」が選択され、同時に処理順序（以下、「フロー」と呼び、「単位操作」と「フロー」を合わせて以下、「プロセス」と呼ぶ。）が決められる。

当社ではここ数年来、パソコンを用いた水処理エンジニアリング用のソフト開発に取り組んでいるが、それはプロセスを組み立てる過程で避けられない次のような問題点を、パソコンが有する機能をフルに活用して解決することを目的としている。第1の問題点は、水処理設備の多様性に起因するシステムの多様化である。すなわち

- (1) 特定の「プロセス」を予め決めてシステム化すると、「単位操作」の多様な組合せに対する選択の柔軟性に欠ける。
- (2) 「単位操作」だけのシステム化であれば、標準的な「プロセス」に至るまでその都度人手を介する必要がある、かつ、統合的なシステム化に進展せず、拡張性に欠ける。

という相反する問題である。

例えば、ある設計条件の下で最適な「単位操作」群および「フロー」を決めるとき、(1)の場合であれば似かよった「プロセス」を事前に幾種類か用意しておく必要があり、また、その範囲内でのケース・スタディーに限定される。(2)の場合は、任意の「プロセス」での試行が可能であるが、(1)に比して多くの時間と労力が必要になる。

第2の問題点として、水処理プラントでは多くの場合、ある「単位操作」からの戻水が系内の循環水として取扱われ、このため、水量・水質の算出時に、繰返し計算が行われているが、計算打切時の初期条件と計算結果の誤差許容

範囲は、「プロセス」毎に考慮しなければならない、ということが挙げられる。

これらの問題点を解決すべく、このたび多種類の「プロセス」に汎用的に応用でき、かつ繰返し計算を排した物質収支計算用ソフト「YTAP-Σ」を開発した。次にその概要と特長、仕様および機能、適用例を述べる。

1. 概要と特長

1.1 概要

第1図に示す、1つの「単位操作」Xから成る「プロセス」において、次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 - Q_2 - Q_3 &= 0 \\ S_1 - S_2 - S_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Q_1, Q_2, Q_3 : 流量 [$L^3 T^{-1}$]

S_1, S_2, S_3 : 含有成分重量 [$K^1 T^{-1}$]

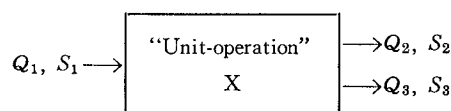
（ただし「単位操作」への「入」をプラス、「単位操作」からの「出」をマイナスとした。）

6つの独立変数 ($Q_1, Q_2, Q_3, S_1, S_2, S_3$) に対して(1)式以外に4つの方程式を与えることが、解を得るための必要条件である。なお、水処理の「プロセス」では Q, S と同様に、 C (含有成分濃度 [$K^1 L^{-3}$] = S/Q) がよく用いられる。

いま例として、「単位操作」Xが「沈殿装置」である場合を考える。 Q, S, C の各添字は、それぞれ

添字1 …… 沈殿池への流入
添字2 …… 沈殿池からの越流
添字3 …… 沈殿池からの引抜

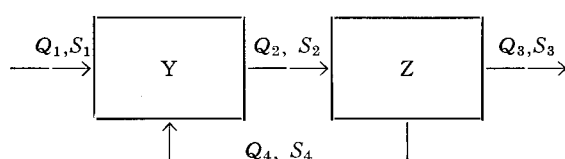
を表わすこととし、流入水量 $Q_1 = q_1$ 、流入SS量 $S_1 = s_1$ 、越流SS濃度 $C_2 = c_2$ 、引抜SS濃度 $C_3 = c_3$ が既知であると仮定すると、連立一次方程式



第1図 1つの「単位操作」から成るプロセス
Fig. 1 Process with one "Unit-operation"

ワイ タップ シグマ
第 1 表 「YTAP-Σ」の仕様
Table 1 Specification of "YTAP-Σ"

Specification of hardware	
Computer	16 bits personal computer
Display	640×400 dots color CRT display
Disk unit	Floppy disk unit or hard disk unit
Printer	Kanji printer
Extension device	Mouse
Specification of software	
Number of "Unit-operations"	max 50
Number of "Connections" between "Unit-operations"	max 52
Number of "Ports" from each "Unit-operation"	max 5
Number of "Ports" to each "Unit-operation"	max 5
Number of check items to be calculated at one time	max 6



第 2 図 2つの「単位操作」から成るプロセス
Fig. 2 Process with two "Unit-operations"

$Ax=b$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ q_1 \\ s_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし、 A : 係数の行列

x : 未知数の列ベクトル

b : 定数項の列ベクトル

が与えられ、これを解くことにより、 Q_2, Q_3, S_2, S_3 を得る。

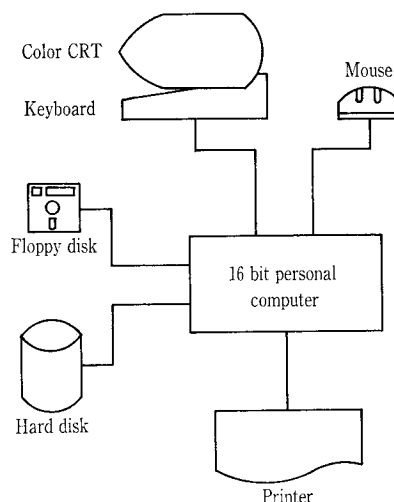
次に、第 2 図に示す、2つの「単位操作」Y、Zから成る「プロセス」を考える。「単位操作」Yのみに着目した場合、(Xにおける Q_1)→(Yにおける Q_1)、以下同様に、 $Q_2 \rightarrow Q_2, Q_3 \rightarrow -Q_4, S_1 \rightarrow S_1, S_2 \rightarrow S_2, S_3 \rightarrow -S_4$ の置換えを行うと、YはXの場合と同様に計算できる。(Zも同様。)[「単位操作」YおよびZをまとめて、

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} \quad (3)$$

が得られる。「単位操作」の数が3つ以上の場合も同様に計算できる。

以上より一般に、

- (1) ある「単位操作」から、別の「単位操作」へ、
- (2) 「プロセス」の範囲(以下「系」と呼ぶ。)外から、



第 3 図 ハードウェア構成図
Fig. 3 Hardware configuration

ある「単位操作」へ、

(3) ある「単位操作」から、「系」外へ、
の各「フロー」(以下「連結」と呼ぶ。)の数を n 、「単位操作」の数を i とすると、生成される連立一次方程式は、次のとおりである。

$Ax=b$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} & a_{1n+1} & \dots & a_{12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{in} & a_{in+1} & \dots & a_{i2n} \\ a_{i+11} & \dots & a_{i+1n} & a_{i+1n+1} & \dots & a_{i+12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{2i1} & \dots & a_{2in} & a_{2in+1} & \dots & a_{2i2n} \\ a_{2i+11} & \dots & a_{2i+1n} & a_{2i+1n+1} & \dots & a_{2i+12n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{2n1} & \dots & a_{2nn} & a_{2nn+1} & \dots & a_{2n2n} \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \\ S_1 \\ \vdots \\ S_n \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \\ b_{i+1} \\ \vdots \\ b_{2i} \\ b_{2i+1} \\ \vdots \\ b_{2n} \end{pmatrix} \quad (4)$$

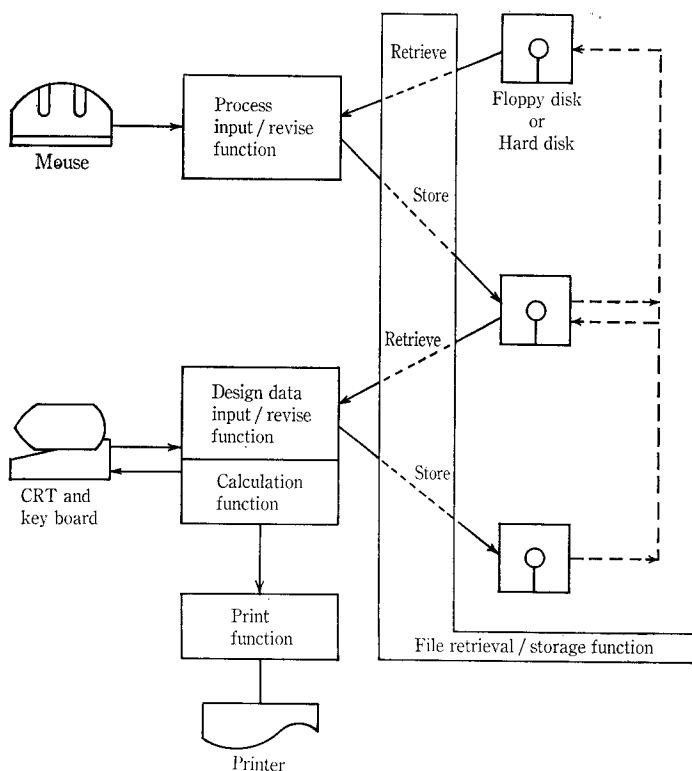
ただし、 a, b は、それぞれ行列 A 、ベクトル b の各成分を表わす。特に、行の置換えにより、

$$\text{部分行列 } A_1 = \begin{pmatrix} a_{1n+1} & \dots & a_{12n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{in+1} & \dots & a_{i2n} \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} a_{i+11} & \dots & a_{i+1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{2i1} & \dots & a_{2in} \end{pmatrix},$$

$$\text{部分ベクトル } b_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \end{pmatrix}, b_2 = \begin{pmatrix} b_{i+1} \\ \vdots \\ b_{2i} \end{pmatrix}$$

の各成分を 0 とすることができる。(2*i*+1) 行以下の各成分は、既知の数あるいは未知数間の関係式(両者をまとめて以下「設計データ」と呼ぶ。)を付加する。ただしこの場合、未知数間には、直線的な関係が存在する、あるいは、直線的に近似できることが前提となる。(4)式において $|A| \neq 0$ ならば、 $Ax=b$ はただ 1 組の解を持つ。

なお、以上の計算では、含有成分が 1 種類(前述の例では“S”)の場合を考えたが、例えば SS と BOD を同時に計算するなど、含有成分が 2 種類以上の場合も同様に計算



第4図 「YTAP-Σ」の機能図
Fig. 4 Functions of "YTAP-Σ"

することができる。

このようにして、いかなる「プロセス」に対しても、繰返し計算することなく、同一の手順にて物質収支計算ができる。

1.2 特長

「YTAP-Σ」の特長をつぎに掲げる。

- (1) パソコンを利用した、
 - ・物質収支計算システム
 - ・水処理プロセス最適設計システム
 が経済的に構築できる。
- (2) パソコンを利用した、既設水処理設備の水量・水質変動時のシミュレーションが容易にできる。
- (3) OSとしてMS-DOSを採用しているので、データファイルは、他のMS-DOS上のソフトと共有できる。
- (4) パソコン操作の簡素化およびメッセージの充実化により、当事者自らが簡単に操作できる。

2. 仕様および機能

2.1 「YTAP-Σ」の仕様

「YTAP-Σ」の仕様（適用範囲）およびハードウェア構成をそれぞれ第1表、第3図に示す。パソコンはNEC製PC-9800シリーズを採用した。CRTは640×400ドットのカラーCRTを、また、プリンターは漢字プリンターを採用した。外部記憶装置は、フロッピー・ディスクとハード・ディスクの両者を採用しているが、信頼性と入出力速度の点から、ハード・ディスクを優先している。また、

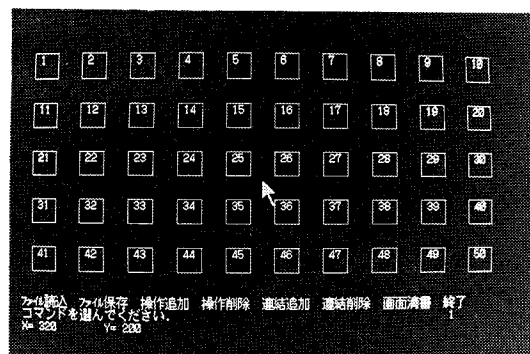


写真1 「プロセス」入力用初期画面
Photo. 1 Initial screen for "Process" input

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
操作	5→4	4→5	5→9	5→19	11→12	12→5	1→2	2→5	5→8
流量	330	138504	0.0178	0.0018		1.333C			
SS	25	20	35		310				25

写真2 「設計データ」入力例
Photo. 2 "Design data" input example

特に操作の機能性を考慮し、「プロセス」入力/変更用デバイスとしてマウスを採用した。

2.2 「YTAP-Σ」の機能

「YTAP-Σ」の機能図を第4図に示す。以下、実際の作業手順に従い、各機能の概略を紹介する。

2.2.1 「プロセス」入力/変更機能

「プロセス」入力用の初期画面(写真1)では、画面上に表示されるメッセージに従い、コマンドを選択することができる。「単位操作追加」コマンドの選択により、「単位操作」を任意の位置に配置する。次に、「連結追加」コマンドを選択し、どの「単位操作」から、どの「単位操作」に対して「連結」するかを指示することにより、「プロセス」を画面上で作成する。「単位操作」、「連結」の削除も、ワンタッチで行えるよう配慮した。

以上の「プロセス」入力/変更は、すべてマウスを使用しながら、必要最小限の操作で行い、また画面上で視覚的に確認しながら作業を進めていくことができるので、短時間でかつ正確な操作が期待できる。

2.2.2 「設計データ」入力機能

「設計データ」入力用画面は、写真2に示すとおり、物質収支表のフォームとした。同画面にて、既知の流量・水質および未知のそれらの関係式を入力する。既知の水質に関しては、含有成分重量 $S(\text{kg-SS/h})$ などもしくは含有成分濃度 $C(\text{mg-SS/l})$ などのどちらでも入力が可能である。

関係式の入力は、

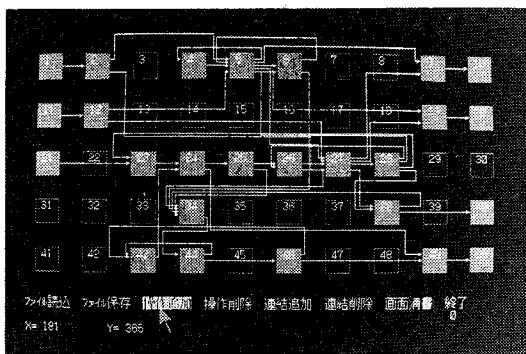


写真 3 「プロセス」入力例
Photo. 3 "Process" input example

- (1) 流量比率..... $Q_j = \alpha \cdot Q_k$ ($j \neq k$)
 - (2) 含有成分重量比率..... $S_j = \alpha' \cdot S_k$ ($j \neq k$)
 - (3) 対含有成分重量流量比率..... $Q_j = \alpha'' \cdot S_k$
- (j, k は「連結」の識別子, $\alpha, \alpha', \alpha''$ は比例定数)

など多種類の方法で行うことができる。

2.2.3 計算機能

2.2.1および2.2.2にて入力済の「プロセス」,「設計データ」に基き, (4)式の連立方程式を生成し, これを解く。なお(4)式において $|A| = 0$ ならば $Ax = b$ は特定の解を持たない。計算はまず $|A| \neq 0$ をチェックする。解を持たない場合は, 直ちにその旨のメッセージが表示されるので, 「設計データ」修正後再計算させることができる。方程式の解法は Cramer 法による。ただし, 演算速度を上げるためのロジックを付加した。また, 計算が開始されるとともに, 計算終了時刻が予測できるよう, メッセージを工夫した。計算結果は, 「設計データ」の入力画面上に表形式で表示される。

2.2.4 プリント出力機能

計算終了後, 必要によりその結果を表形式で漢字プリンター上に印字することができる。この表と「プロセス」図を重ねれば, 物質収支図が完成する。また, 計算途中において, 計算される流量や含有成分重量/濃度を逐一印字させることもできる。

2.2.5 ファイル入出力機能

2.2.1にて入力された「プロセス」や2.2.2にて入力された「設計データ」は, ファイル入出力機能により, MS-DOSのテキスト・ファイルとして, フロッピー・ディスクやハード・ディスクの外部記憶媒体上に出力することができる。標準「プロセス」や入力時の中間結果を保存しておくことにより, 以下のメリットがある。

- (1) 標準「プロセス」を利用することにより, 再入力の手間が省ける。
- (2) 標準「プロセス」の修正利用により, 多種類の「プロセス」に柔軟に対応できる。
- (3) 「設計データ」の修正利用により, 同一「プロセス」での, 水量・水質変動/変更時のシミュレーションが容易にできる。
- (4) 入力作業中, 随時に中断/再開することができる。
- (5) 「プロセス」, 「設計データ」を MS-DOS のテキスト・ファイルとして保存できるので, 実績データの

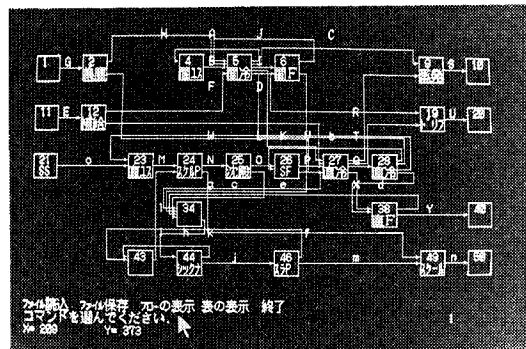


写真 4 「プロセス」出力例
Photo. 4 "Process" output example

蓄積・検索・再利用や, 他の MS-DOS 上のシステムでの活用が容易にできる。

3. 適用例

「YTAP-Σ」は既に, 下水処理, 工場廃水処理, ゴミ浸出水処理, 純水製造など数種類の「プロセス」に適用されており, いずれも満足な結果を得ている。一例として, 「YTAP-Σ」による鉄鋼業向戻水処理「プロセス」の物質収支計算結果を以下に紹介する。

3.1 鉄鋼戻水処理「プロセス」の概要

同「プロセス」では, 加熱炉冷却水などのスケールが混入しない間接冷却系冷却水の処理と, ロール冷却水などのスケールが混入する直接冷却系冷却水の処理の2つの循環から成る。間接系の処理は, 冷却塔による循環水冷却およびろ過器による集塵SSの除去が主である。また, 直接系の処理は, スケール・ピットによるスケールの沈降分離, 傾斜管付沈殿槽および超高速ろ過器による微細スケールの除去, 冷却塔による循環水冷却などである。各々のろ過器の逆洗排水および沈殿槽引抜スラッジは, スラッジ・シクナーとスラッジ・ピットにて濃縮され, 微細スケールスラッジとして, スケール・ピットの粗スケールとともに「系」外に搬出される。「プロセス」設計時には, これら循環水の流量および水質を加味しなければならない。

3.2 「YTAP-Σ」による鉄鋼戻水「プロセス」物質収支計算

まず「プロセス」入力用の初期画面(写真1)を利用して, 「単位操作」および「フロー」を入力する。「単位操作」は, 間接系では冷却塔とろ過器, 直接系ではスケール・ピット, 沈殿槽, 超高速ろ過器(SF), 冷却塔があり, またスラッジ処理としてスラッジ・シクナーとスラッジ・ピットがある。「系」外からの流入として, 直接系におけるスケールの混入, 両方の系における集塵SSと補給水(工業用水)があり, また「系」外への流出として, 両方の系における蒸発水, 冷却塔での飛散水(ドリフト), 放流水, 搬出スケールがある。それぞれを「単位操作」として入力する。なお間接系, 直接系のそれぞれのユース・ポイントもここでは「単位操作」として取扱う。

次に, それら「単位操作」間の「連結」をインプットすると「プロセス」入力が終了する(写真3)。ファイル入出力機能を利用して今入力した「プロセス」を保存する。

名称	(間)32℃	(間)42℃	(間)蒸発	(間)トリフト	用水計	(間)用水	集塵S
連結	A	B	C	D	E	F	G
操作	5→4	4→5	5→9	5→19	11→12	12→5	1→
流量	*2090 2090	*¥13890H 2090	*0.017B 35.530	*0.001B 2.090	105.330	*1.333C 47.362	0
SS	*#5 5.000 10.450	5.000 10.450	*#0 0	*#5 5.000 0.01045	10.000 1.053	*#10 10.000 0.47362	By 0.

名称	(間)F→冷	(間)F→	(直)32℃	(直)42℃	スリット出	S F 入	S
連結	J	K	L	M	N	O	P
操作	6→5	5→27	28→23	23→24	24→25	25→26	26→
流量	*1 141.231	9.741	*2695 2695	2695	2740	*P 2728	*¥13 27.1
SS	*#1 1.00000 0.14123	*#5 5.000 0.04871	*#10 10.000 26.950	*1000 371.058 1000	55.239 151.351	*#40 40.000 109.118	*#10 10. 27.1

名称	蒸発計	(直)トリフト	トリフト計	(直)用水	(直)集塵S	(直)冷→F	放流
連結	S	T	U	V	W	X	Y
操作	9→10	27→19	19→20	12→27	2→27	27→38	38→40
流量	81.905	*0.001P 2.728	4.818	*1.25R 57.969	*0 0	18.358	*X 18.358
SS	0 0	*#10 10.000 0.02728	7.831 0.03773	*#10 10.000 0.57969	By Zero 0.19640	43.879 0.80551	*#5 5.000 0.09179

名称	(間)F逆用	(間)逆排	(直)逆用	(直)逆排	粗サージ	沈殿排泥	シャワー入
連結	b	c	d	e	f	g	h
操作	28→5	6→34	28→38	38→34	24→49	25→34	34→
			*0.4		*¥.00011		

第5図 プリント出力例
Fig. 5 Print example

写真5 計算結果出力例
Photo. 5 Calculation result output example

次に、「設計データ」の入力機能を利用し、与えられている数値や関係式を入力する(写真2)。ここでは、

- (1) 間接系・直接系それぞれのユース・ポイントにおける必要流量
- (2) 同上SS濃度
- (3) 両系冷却塔での流量対集塵SS量の関係式
- (4) 両系冷却塔での流量対蒸発水量の関係式
- (5) 両系冷却塔での流量対飛散水量の関係式
- (6) 両系での蒸発水量対補給水量の関係式
- (7) 補給水のSS濃度
- (8) 間接系ブロー水のSS濃度
- (9) 放流水のSS濃度
- (10) 超高速汚濁器(SF)の入口と出口におけるSS濃度
- (11) 超高速汚濁器(SF)の逆洗用水量対流入SS量の関係式

などである。また、「設計データ」の入力に際し、必要に応じ「プロセス」を画面に出力することも可能である。(写真4)

以上の条件にて計算した結果が写真5である。同時に、プリント出力結果を第5図に示す。プリント内容は次のとおりである。

- (1) 「連結」の名称
- (2) 「連結」識別記号(A~Z, a~z)
- (3) 「連結」の始点と終点の「単位操作」識別記号(数字)
- (4) 流量の「設計データ」入力値[m³/h など]
- (5) 流量の計算結果 [m³/h]
- (6) SSの「設計データ」入力値[kg/h, mg/l など]
- (7) SSの計算結果 [kg/h]
- (8) SSの計算結果(濃度) [mg/l]

むすび

物質収支計算用パソコン・ソフト「YTAP-Σ」を開発した。本ソフトを数種類の水処理プロセス設計に適用したが、いずれも良好な結果を得ている。「YTAP-Σ」で得られる水量・水質計算値は、水処理設備エンジニアリング上、最も基本的でかつ重要なものである。「YTAP-Σ」をEWS(エンジニアリング・ワーク・ステーション)の中心的アプリケーション・ソフトとして位置付け、今後拡張を計っていきたい。

MS-DOSは米国マイクロソフト社の登録商標