定量組合せ装置で用いられる組合せアルゴリズム*

——計量装置1台を装備する場合——

亀岡 紘一** 関口 久美** 松上 晃***

Combination Algorithm for a Combination Weigher
—A Case of the Weigher Equipped with a Single Weighing Device—

Koichi KAMEOKA, Hisayoshi SEKIGUCHI, Akira MATUGAMI

The purpose of this study is to develop a new combination algorithm for the combination weigher equipped with a single weighing device. First, two types of combination algorithm (A-type and B-type) are proposed, showing a model configuration of the combination weigher. The A-type is an algorithm that has a simple combination procedure, but it requires many number of repetitive computations to find an optimal combination of goods. On the other hand, the B-type is an algorithm that is a little complicated, but it does not require many number of repetitive computations. In addition, the B-type has the very function for the purpose to adopt to the variation of the statistical properties of goods. Second, comparison is made of the two algorithms with respect to the combination efficiency by means of computer simulation. As the result, it is made clear that these combination efficiencies are sufficient in practice and that the B-type is successful for the variation of the statistical properties of goods. Third, to examine the feasibility of the algorithm, an experimental combination weigher with the B-type is made and, on the basis of the experimental result, problems to be solved for the development of the combination weigher are discussed.

Key words : combination weigher, combination algorithm, weighing machine, mass measurement, computer simulation

1. ま え が き

野菜、果物、魚介類などの農・水産物あるいはそれらの加工品を数個組み合わせる包装した商品が最近数多く見受けられる¹⁾。本研究は、上記商品の製造工程で品物の組合せ作業を行わせるための装置、すなわち定量組合せ装置で用いられる組合せアルゴリズムの開発を意図した研究である。

現在、上記組合せ作業の大部分は、計量器(はかり)を用いた手作業によって行われており、非常に能率の悪い作業となっている。また一部では自動化されているが、その場合の組合せ方式は、(i)数台の計量器のそれぞれから得た複数個の測定値に基づいて組合せ計算を行う方式¹⁾²⁾、あるいは、(ii)1台の計量器で測定した品物を順次ストックし、ストック個数が所定数に達したのち、それら個々の測定値に基づいて組合せ計算

を行う方式³⁾である。したがって、前者(i)は価格の点で、また後者(ii)は能率の点で問題がある。さらに、従来の組合せアルゴリズムには、品物質量の統計的性質(単品の質量の平均値あるいはばらつき)の時間的変動が考慮されていない。これは従来のアルゴリズムのもつ大きな問題点といえよう。

本論文ではまず、新しい定量組合せ装置の基本構成を示し、2種類の組合せアルゴリズム(A方式、B方式)を提案する。そして、それらの有効性と両者の優劣を、計算機シミュレーションによって調べる。次に、マイクロプロセッサを用いて構成したデータ処理部に、提案したアルゴリズム(B方式)を実装した試作実験装置の概要を説明する。そして、この試作装置による実験結果に基づきB方式の実施可能性を検討するとともに、実用装置開発における問題点を考察する。

2. 定量組合せ装置モデルと組合せアルゴリズム

2.1 基本構成と基本機能

図1は、本研究において開発しようとする組合せアルゴリズムを実施するための定量組合せ装置のモデルである。本節では、この装置の基本構成と基本機能に

* 原稿受付 昭和59年1月6日、昭和56年度精機学会春季大会学術講演会(昭和56年3月29日)および昭和57年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和57年10月19日)にて発表

** 正会員 姫路工業大学(姫路市書写2167)

*** 機械設備コンサルタント(姫路市広畑区蒲田685-2)

Fig. 1 Basic configuration of the combination weigher model

について説明する。

この装置は大別して、計量装置、データ処理装置、振分け装置、待機装置および合流装置で構成される。図1において、サーボ機構で駆動する振分けシュートが振分け装置、ゲート開閉装置をもつ小ホッパ（複数）が待機装置、1台の大ホッパが合流装置に相当する。

個々の品物が計量コンベア上を通過中に質量測定を行い、その値をデータ処理装置に取り込む。測定した品物は、振分けシュートを介して10台の小ホッパのいずれかのホッパもしくは1台の大ホッパ、または排除シュートへ導く。10台の小ホッパは、サーボ機構の回転軸を中心とし、軸から振分けシュート出口までを半径とする同心円上に配置してある。

振分けシュートの動作と測定値の関係は次のようになっている。すなわち、測定値が得られるごとに、この最も新しい測定値（以後、この値を「最新測定値」と呼ぶ）が単独で定量（組合せ質量の合格許容範囲）内であるか否かを、データ処理装置で判断する。その結果、定量内であれば、この品物（最新測定物）1個で合格とし、振分けシュートを介して大ホッパに投入する。もし最新測定値が定量の上限値より大であれば、もはやほかの品物と組み合わせても合格品となることはないので、排除シュートより排除する。

最新測定値が定量の下限値より小であれば、最新測定値と、既に測定されて各ホッパ内で組合せ待ちしている品物の質量値との合計11の質量値の組の中から、後述する組合せアルゴリズムに基づく、最新測定値を含むある適当な組合せ加算値を計算する。そして、この加算値の中で定量のものの有無を調べる。定量の計算値がある場合には、さらにその中で定量の下限値に最も近い加算値（合格加算値）を1つ選択し、この加

算値を構成する品物の入っている小ホッパを決定する。次に、最新測定物を振分けシュートを介して直接に大ホッパへ投入すると同時に、先に決定された小ホッパのゲートを開き、組合せ待機中の品物を大ホッパへ投入して合流させ、合格組を完成させる。もし、合格加算値がなければ、その時点における各小ホッパ内の品物の充てん状態（品物の個数あるいは質量値）を調べる。その結果、小ホッパにさらに受入れ余裕があれば、最新測定物を適当な小ホッパに投入して、次回以後の組合せのために待機させる。受入れ余裕がなければ排除シュートより排除する。

本研究では、小ホッパ1台につき品物の受入れ許容個数を1個に限定する組合せ方式を「A方式」、受入れ許容質量には制限を設けるが、受入れ個数を1ホッパにつき1個に限定しない方式を「B方式」と呼ぶことにする。

2.2 A方式

A方式とは、小ホッパ内で組合せ待ちさせる品物の個数を1ホッパにつき1個に限定する方式である。組合せ演算は、最新測定物と10台の小ホッパ内の品物の中から、最新測定物を含む適当な個数の組合せの質量加算演算となる。たとえば、2～5個組の中から合格品を捜す場合の加算値の総数は、

$$\sum_{k=1}^4 {}_{10}C_k = 10 + 45 + 120 + 210 = 385 \quad (1)$$

となる。この中から、前節で述べた合格加算値を探索することになる。

A方式は、次節で述べるB方式に比較して、組合せ手順は簡単である。しかしながら、合格組中に許容する品物の個数が多くなるに従って演算回数が急激に増大するため、組合せ演算処理時間（測定値取得時点からその品物の処置が決定するまでの時間）で問題が生じる場合も起こり得る。また、この方式は従来のアルゴリズムと同様に、品物質量の統計的性質の時間的変動を考慮していないという弱点をもっている。

2.3 B方式

B方式とは、小ホッパ内で組合せ待ちさせる品物の質量については制限を設けるが、その個数については1ホッパにつき1個に限定しない方式である。組合せ演算は、最新測定値と10台の各ホッパ内の品物の質量値との10通りの加算演算とする。したがって、加算値の総数は10であり、前述のA方式の加算値総数385と比較して、非常に少ないものとなる。この10個の加算値の中に合格加算値があれば、その値を構成する品物を大ホッパへ投入し、合流させて合格組を完成する。もし合格加算値がなければ、最新測定物は小ホッパに

Fig. 2 Explanation of β

投入するか、排除シュートより排除するか、どちらかである。これを実行するには、小ホッパの受入れ許容質量の上限と投入ホッパの選択基準とを明確にしておく必要がある。これに関しては、以下に述べるような条件判断に基づいて実行する。

まず、1台の小ホッパ内で待機させる品物質量の総和の上限値を定めておく。以後、この値を α と置く。加算値のすべてが α より小であれば最新測定物は排除し、そうでなければ小ホッパに投入する。投入する場合には、次の測定で得られる最新測定物において合格加算値を得る確率ができるだけ高くなるようなホッパの選択が肝要となる。本研究では、加算値が次式すなわち、

$$\beta = (U+L)/2 - \bar{M} \quad (2)$$

ただし、 U : 定量の上限値

L : 定量の下限値

$\bar{M}$: 品物の単品質量の平均値

で定まる β に最も近い値が得られるホッパを選択することにした。このような選択基準の妥当性は図2より明らかであろう。つまり、単品質量の最頻値(本研究では、平均値と一致するものと仮定)と β との和が定量の中央値 $(U+L)/2$ と一致するからである。以後、 β を投入の「基準値」と呼ぶことにする。

上の説明より明らかなように、B方式では、小ホッパへの投入に関して2つの変数、すなわち投入の上限値 α と基準値 β が新たに付け加わる。このため、組合せ手順は少し複雑になる。また、 α と β はともに品物質量の統計的性質に依存する変数でもある。しかしながら、これを積極的に活用するという立場に立てば、品物質量の統計的性質の時間的変動に適応した組合せアルゴリズムを導くことになり、組合せ効率の向上も期待できる。

2.4 B方式における品物質量の統計的性質変動対策

変動対策の基本方針は、 α, β の最適値 $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$ を

品物質量の統計的性質の代表値である平均値 $\bar{M}$ と標準偏差 σ の関数として数式化してデータ処理装置に組み込み、品物の適当な測定個数ごとにその測定値より $\bar{M}, \sigma$ を求めて $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$ を算出して、 $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$ を自動的に更新する、というものである。 $\bar{M}, \sigma$ の関数としての $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$ の数式化は、以下に述べる計算機シミュレーションを行うことにより可能である。

いま、組合せ効率を、合格組数 N_e を測定個数 N_m で割算した N_e/N_m で定義することにする。また、この値を最大ならしめる上限値 α と基準値 β をそれぞれ、 $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$ で表すことにする。計算機シミュレーションではまず、 $\bar{M}$ と σ の一組の値に対して α の値を変化させて、効率 N_e/N_m を計算する(β には式(2)で算出した値を採用する)。その結果、効率 N_e/N_m を最大ならしめる α すなわち α_{opt} が求まる。同様に、種々の $\bar{M}$ と σ の組合せに対して α_{opt} を求めることにより、3次元データ $(\bar{M}, \sigma, \alpha_{opt})$ を得る。このデータに対して、

$$\alpha_{opt} = \theta_1 + \theta_2 \bar{M} + \theta_3 \sigma + \theta_4 \bar{M}^2 + \theta_5 \bar{M} \sigma + \theta_6 \sigma^2 \quad (3)$$

で表される2次曲面をあてはめ、係数 $\theta_1 \sim \theta_6$ を決定する⁴⁾。このようにして、 α_{opt} が $\bar{M}$ と σ の関数として数式化できる。なお、この場合、 β_{opt} については式(2)で計算することを前提としている。

上に述べたように、B方式はA方式と比較して組合せ手順は少し複雑ではあるが、組合せ加算演算回数はわずかに10回である。したがって、組合せ演算処理時間が非常に短く、高速の組合せ処理に適したアルゴリズムであるといえよう。しかも、品物質量の統計的性質変動に対処する機能を具備した、従来のものに見られない特長を有する組合せアルゴリズムでもある。

3. シミュレーションによるA方式とB方式の比較

シミュレーションに先だち、組合せ作業現場の調査を行った。その現場における組合せ対象品は、単品の質量平均値が約110g、その寸法が約20cmの同種類のしょう油漬沢庵である。組合せ作業者は、山積みされた品物の中から合格組と推定される2~3本を選択し、これを計量して合格組であるか否かを確かめる、という作業をとおして合格品を決定する。

調査結果で、シミュレーションに必要な項目と数値を表1に示す。表中に記入した統計的性質および合格許容範囲を想定してシミュレーションを実行した。

図3は、A, B両方式について、小ホッパ台数 N_h と合格組数 N_e との関係を示したものである。合格組数 N_e は、品物10³個の測定5回の平均値である。この場

Table 1 Result of the investigation on an actual packing-work

Name of goods	Pickles
Mass value printed on a pack	250 g
Allowable region of eligible combination ⁵⁾	242.5-275 g
Statistical properties	Gaussian, $\bar{M}=113.5$ g, $\sigma=33.5$ g

Fig. 3 Number of small hoppers vs. number of eligible combinations

合、品物の統計的性質 ($\bar{M}=113.0$ g, $\sigma=33.5$ g) に変動がないものと仮定して, α_{opt} , β_{opt} をシミュレーションの途中で更新していない (更新のための測定個数を 10^3 にとったことに相当する). 図 3 より, 組合せ効率 N_e/N_m については, A, B 両方式にはほとんど差のないこと, また小ホッパが 4 台以上になれば, どちらの方式であっても 400 組以上の合格品 (組合せ効率 40% 以上) が期待できることを示している. すなわち, たとえば毎分 60 個の測定がなされると仮定した場合, 毎分 24 組以上の合格品が期待できることを意味している. なお, 排除した品物個数については図示していないが, A, B 両方式にはほとんど差のないこと, また小ホッパが 4 台以上では全測定個数に対して約 5% 以下であることが明らかになっている. さらに, 合格品一組の平均質量が, 組合せ方式の相違あるいは小ホッパの台数の多少とは関係なく, ほぼ 257 g であることなども, シミュレーション結果として明らかになっている.

表 2 は, ホッパ台数 $N_h=10$ の場合の合格品の種別, すなわち合格品一組を構成する単品の個数の相違を示したものである. A, B 両方式の差異はほとんど認められない.

品物質量の平均値 $\bar{M}$ と標準偏差 σ が時間に関して変動した場合, 組合せ効率がどのように変化するかを

Table 2 Kinds of eligible combination

Number of goods in a eligible combination	A-type (%)	B-type (%)
1	0	0
2	72	71
3	28	28
4	0	1
5	0	0

Fig. 4 Comparison of the A-type with the B-type concerning the variation of statistical properties of goods

検討しておくことは重要である. これに関するシミュレーション結果を図 4, 5, 6 に示す.

図 4 は, 平均値 $\bar{M}=113.0$ g のみがステップ状に +20% 変化して $\bar{M}=1.2 \times 113.0$ g となった場合において, 測定個数の増加に対する合格組数 N_e の変化すなわち時間的推移を調べたものである. B 方式では, α_{opt} , β_{opt} を更新しなかった場合と, 測定個数 10^3 個ごとに更新した場合の両方をプロットしている. ○印は更新のない場合, ⊙印は更新のある場合を示す. ●印は A 方式で得た結果を示す. この図より, α_{opt} , β_{opt} の更新効果が顕著であることがわかる.

図 5, 6 は, 測定回数 $N_m=10^4$ の時点での組合せ結果が, $\bar{M}$, σ の種々の値のステップ状変動 ($\bar{M} \rightarrow \bar{M} + \Delta \bar{M}$, $\sigma \rightarrow \sigma + \Delta \sigma$) に対してどのようなことになるかを調べたものである. すなわち, 図 5 は平均値変動 $\Delta \bar{M}/\bar{M} = -0.2 \sim +0.2$ の範囲で調べた結果, 図 6 は標準偏差変動 $\Delta \sigma/\sigma = -0.2 \sim +0.2$ の範囲で調べた結果である. 図 5 では, $\Delta \bar{M}/\bar{M}$ が 0.1 より大の場合において合格組数 N_e に明らかな差異が認められ, その差異は

Fig. 5 Effect of the variation of $\bar{M}$ on number of eligible combinations

Fig. 6 Effect of the variation of σ on the number of eligible combinations

B方式がA方式より優れていることを示している。また、図6からは、 σ の変動が合格組数 N_e にほとんど影響を与えないことがわかる。

組合せ演算処理時間については、FORTRAN 言語による上述のシミュレーションで比較するならば、B方式がA方式の約 1/20 であることがわかった。

シミュレーション結果に基づく以上の考察より、B方式の組合せアルゴリズムがA方式のものより優れていることが確認された。

4. 試作実験装置の概要と実用装置開発における問題点

A方式とB方式を比較した前章の結論に基づき、B方式の組合せアルゴリズムを実装した試作実験装置

Fig. 7 Photograph of the experimental combination weigher

を製作した。

図7は、試作装置の外観を示す写真である。また、図8は装置の構成と機能を説明するための概略図である。図8より明らかなように、この装置は、搬入コンベア、計量装置、振分けコンベア、待機装置、集合コンベアおよびデータ処理装置より構成されている。この装置では、搬入コンベアへの品物の供給および振分けコンベアから待機装置への品物の移動は手動によって行われる。

測定した品物は、ソレノイドで駆動するフリップによって「合格」あるいは「待機」、もしくは「排除」のいずれかの方向に振り分ける。最新測定物が合格組に含まれる場合には、これを「合格」の側へ振り分けて集合コンベア上に落下させる。また、これより少し早いタイミングで待機中の品物で合格組に含まれる品物を集合コンベア上に落下させる。集合コンベア上に落下した品物は、集合コンベアから放出された位置で合流する。最新測定物が「待機」側に振り分けられた場

Fig. 8 Basic configuration of the experimental combination weigher

Fig. 9 Hardware configuration of the data processing device

合には、人間がその品物を手でつかみ、10 か所に設けた待機品受皿のうち、ランプで指示された受皿上に移動させる。受皿は、ラック・ピニオンを介してエアシリンダに連結されており、データ処理装置からの指令で90°回転できる機構となっている。

データ処理装置の盤面には、表示器、設定スイッチ及び操作スイッチを取り付けている。表示器にはプラズマディスプレイを用い、これには合格組数、合格品質量積算値および合格品質量平均値を表示する。設定スイッチはデジタルスイッチであって、投入上限値 α と投入基準値 β のそれぞれの初期値、定量の上限値 U と下限値 L の設定に用いる。操作スイッチは、装置の起動・停止、リセットなどのためのスイッチである。

データ処理装置のハードウェア構成は図9に示すとおりである。

本試作装置の現場テストの結果について述べる。組合せ効率については、シミュレーション結果から予想される実験結果が得られ、この点で実用上問題のないことがわかった。しかし、組合せの能率については、振分け装置から待機装置への品物の移動を手動式としたことに起因する限界があり、その限界値が18組/minであることが判明した。ちなみに現在、計量器を用いた組合せ作業1人の処理能力は6~8組/minである。この点を考慮すると、18組/minの能力では能率向上に大きく寄与する装置であると言い難い。しかしながら、上記の限界は本試作装置に固有の限界であるが、データ処理装置による組合せアルゴリズム実行上の限界ではない。

振分け装置から待機装置への品物の移動を自動化する方法として次のような方法が考えられる。すなわち、振分けコンベアを長くし、フリッパを数多く設けて、フリッパで振り分けた品物をフリッパと同数の、待機

装置としてのホッパ内に落とし込む方法である。このような方法で、試作装置で問題となった箇所を自動化し、本論文で提案した組合せアルゴリズムを備えた定量組合せ装置はすでに開発され、組合せ作業現場で現在稼動中である。この装置開発に関する技術的内容、装置導入による経済的効果などは続報で述べる。

5. あとがき

本論文内容を要約すると次のようになる。

- (1) 計量装置1台のみを装備した定量組合せ装置モデルの基本構成と基本機能を示し、このモデル装置で用いられる組合せアルゴリズム(A方式とB方式)を提案した。
- (2) A方式は品物質量の統計的性質の時間的変動を考慮していないが、B方式はその変動を考慮したアルゴリズムである。
- (3) B方式は、組合せ演算処理時間(測定値取得時点からその品物の処置が決定されるまでの時間)が短く、高速の組合せ処理に適したアルゴリズムである。
- (4) 計算機シミュレーションによって、A,B両方式の有効性の検討を行った。その結果、両方式ともに組合せ効率は非常に良好であるが、品物質量の統計的性質の変動を考慮すれば、B方式の方が優れている。
- (5) マイクロプロセッサを用いて構成したデータ処理装置にB方式のアルゴリズムを実装した試作実験装置の概要を説明した。
- (6) 試作装置による、しょう油漬沢庵を組合せ対象とした現場テストの結果、提案した組合せアルゴリズム(B方式)の実施可能性を確認するとともに、実用装置開発には振分け装置から待機装置への品物の移送の自動化が不可欠であることが明らかにされた。

本研究遂行に際し、有益な御助言を賜りました大和製衡(株)取締役技術部長・井上真一氏ならびに同社技術業務課長・小松原信篤氏に厚く御礼申し上げます。また、組合せ作業現場の調査と現場テストに御協力を賜りました(株)新井商店ならびに富士西産業(株)白雪奈良漬工場に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 大和製衡(株)カタログ：マニュアル式データウェイ(1980)。
- 2) 垣田幸男：計量方法，特開昭50-104670(1975)。
- 3) 村上勝彦：計量装置，特開昭50-50066(1975)。
- 4) 石井吾郎：実験計画法の基礎，サイエンス社(1972)82。
- 5) 通商産業省：計量法施行令12条，計量関係法令現集，第一法規(1980)180。