

## 医用検体搬送システムの処理性能解析 -検体経路のばらつきとの関係-

兒玉 隆一郎<sup>†1</sup> 田野 俊一<sup>†2</sup>

本論文は、医用検査で利用される分析装置を搬送路で結合したシステムの処理時間性能を解析して定量的な評価を行う。搬送路沿いに並んだ分析装置が搬送路上に並んだ検体を吸取る方式(PLS: Pipe Line System)は、検査項目のばらつきが少ない検体を処理する方式として 1990 年代まで活躍した。その後、検査項目数が増え、その依頼にばらつきが出てくると、バッファ及び追い越し機能を付加した方式(STS: Side Track System)が考案され現在も稼働している。STS のポテンシャルは高く、その性能の可能性を追求することは今後の開発にとって意義深い。そこで以下 3 点につき解析、数値実験を通して明らかにした。1) STS では搬送路の 1 検体当りの搬送時間が(検体の分析処理時間)/(装置数+1)を超えると処理時間性能が大きく劣化する。2) 引き込みラインの入口出口それぞれにバッファを 1 個もつ装置 4 台構成において、ランダムな分析装置間経路をもつ全 200 検体を検査処理終了するまでの時間は、STS が PLS に対して平均 30%圧縮する。3) STS のバッファを 2 個以上にしても更に 30%圧縮するほどではない。性能解析では、ランダムな検体列において特定装置に立ち寄らない検体が連続して出現することに着目し、立ち寄らないことで発生する空きを圧縮するアーキテクチャとして STS を位置づけた。本研究により STS の可能性を定量的に確認し、搬送路及びバッファの設計基準を構築した。

## Performance Analysis of Clinical Specimen Transportation System - Relationship With Sample Path Deviation -

RYUICHIRO KODAMA<sup>†1</sup> SHUN'ICHI TANO<sup>†2</sup>

This paper reports quantitative performance analysis for the processing time of clinical instrument system connected by a conveyor. PLS (Pipe Line System) is one of the architectures to deal with almost uniformly requested tests for samples in the 1990s. After that, as a variety of tests is made wide and requested tests are deviated in sample by sample, STS (Side Track System) was devised and is now working. STS has a buffer function and passing function for samples to skip unrequested instrument. STS has its potential capacity in processing performance so that it is of great significance to pursue its possibility. This paper clarifies the following: 1) There is a limit on conveyance time not to significantly diminish the performance in STS, 2) the processing time of STS is 30% shorter than the one of PLS in average, and 3) the increase of buffers does not have impact more than 30% performed by one buffer. Our performance analysis placed STS as the architecture to compress the test request space. This study confirms possibility of STS quantitatively and in this way builds the design guideline for the conveyor and the buffer of STS.

### 1. はじめに

医療の検査業務においては様々な自動化が導入されている。人体から採取した血液などの検体は検査対象の 1 つである。検査では、血液を自動的に分析する分析装置だけでなく、複数の分析装置に検体が効率よく配送されるような搬送システムも利用されている[1]。

このような搬送システムでは、検体が検査室に到着した順にまとめて投入され、搬送路入り口において検体に添付されたバーコードを読み込んで初めてどんな検査が必要で、どの分析装置に搬送されるべきかが分かる。このため検体と分析装置をジョブシヨップ・スケジューリング問題[2][3]におけるジョブと機械の関係と見立てて事前に配送順番を

スケジュールすることは難しい。そこで、随時流れてくる検体をリアルタイムに分析装置へ配送するためのリアルタイムスケジューリングの問題として捉える。

搬送路と分析装置を組合せた典型的なシステムを図 1 に示す。分析装置は搬送路上に停止した検体容器からピペットにより検体を一定量吸取り、分析装置内の反応容器に吐出する(以下、このような吸取りと吐出の一連動作を分注と呼ぶ)。検査項目毎に反応容器が用意され、分注は検査項目数分繰り返され、反応後に結果が報告される。搬送路沿いにはこのような分析装置が複数個並び、搬送路上に複数個並んだ検体の内分注時間が一番長い検体を待って、搬送路がシフトする。検体はシフトによって順次異なる分析装置の前に送られ分注が行われる。このようなシステムをパイプライン方式(Pipe Line System: PLS)と呼ぶ。

このようなシステムにおいて分析装置間で分注時間に大きな差が生じると一番時間のかかる分析装置がボトルネックとなる。このため、システムを導入する前に、分注時

<sup>†1</sup> (株)日立ハイテクノロジーズ  
Hitachi High-Technologies Corporation  
<sup>†2</sup> 電気通信大学大学院情報システム学研究所  
Graduate School of Information Systems, The University of  
Electro-Communications

間が均一になるように分析装置の種類や分析装置の検査項目レパートリーを最適化設計するのが一般的である。このような最適化では検査室での平均的な検査項目の依頼状況を参考にする。PLS は同種の分析装置を同期して接続する形で 1990 年代まで、分析装置を搬送路で結合してシステム全体の処理能力を向上してきた。

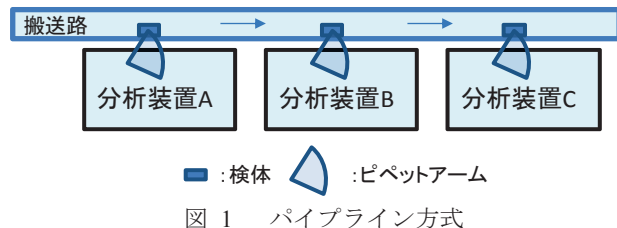


Figure 1 Pipe Line System (PLS).

しかし、検査項目の種類も増えて、ばらつきのある検査項目が依頼された検体を複数の分析装置で処理するために、1990 年中ごろに新しい接続方式であるサイドトラック方式(Side Track System: STS)が開発され、今日現在も製品に実装されている。

STS にはばらつきのある検査項目に対応するため 2 つの改良点を加えられている。1 つはバッファ機能である。分析装置は搬送路上とは別のバッファに検体を引き込み、そこから分注が行われる。よって、バッファ経由で分注が行われる限り他の分析装置に影響を与えない。もう 1 つは追越し機能である。検体はある分析装置で分注を終えると、後続の任意の分析装置のバッファに運ばれる。途中の不要な分析装置があれば、これを追い越して運ばれる。

STS は異種の分析装置 4 台構成まで組合せを可能にしたが、そのポテンシャルは高く、今後の設計開発にとってその性能の可能性を追求することは重要である。

そこで、本論文は、バッファ数及び搬送能力がシステム処理性能に与える影響を明らかにして、STS がばらつきある検査項目に対処する様子を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には、

課題 1: STS における搬送路の搬送能力とシステム処理性能との関係、

課題 2: 検査項目にばらつきのある検体列を処理完了するまでの時間は STS が PLS に対して何%短縮するか、

課題 3: バッファ数がシステム処理性能に影響を与える度合い

を明らかにする。特に課題 2 の解析では、ランダムな検体列における空きの分布を導出し、それが搬送システムによって縮小されるモデルを導出する。

以下、2 章ではサイドトラック方式について述べる。3 章ではサイドトラック方式のシステム性能を解析する。4 章では数値実験で解析結果を検証考察し、5 章でまとめを述べる。

## 2. サイドトラック方式(STS)

1 章で述べたパイプライン方式(Pipe Line System: PLS)は分析装置を搬送路で結合する一般的な方式といえる。しかし、この方式では搬送路沿いに並ぶ分析装置の内、全ての分析装置が分注を終了しないと搬送路を動かさないため、一番遅い分注時間に合わせて搬送路が動く。従って、一番遅い分注を待つ他の分析装置には反応容器の空きが生じ、処理能力が劣化する。

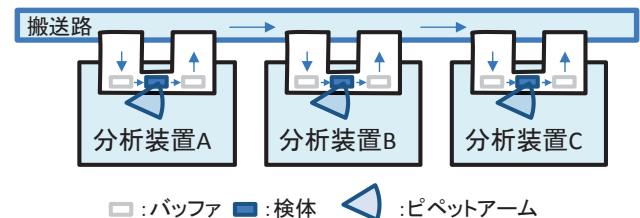


Figure 2 Side Track System (STS).

そこで、検査項目のばらつきに対処できるプラットフォームとして、引き込みラインを有する複数分析装置を 1 つの共通搬送路に接続したシステムであるサイドトラック方式(STS)が考案された(図 2)[4]。

分析装置内には搬送路から検体を搬入・搬出する経路が用意されている。STS において検体は搬送路入口から任意の分析装置に搬送される。また、任意の 2 分析装置間で上流から下流に向けて(図 2 の左から右へ)検体を搬送することができる。従って、検体の流れにループが無くデッドロックは起こらない。検査を全部終了した検体は任意の分析装置から搬送路出口に直接搬送される。

PLS が検体を搬送路上に複数縦列させる方式であったのに対して、STS では縦列がない。STS では任意の分析装置間で搬送が必要となった時点で検体が搬送路を占有して搬送が実行される。これは丁度ネットワークバスにおけるデータ伝送と類似している、つまり、検体の搬送が無い限り STS では搬送路上に検体は存在しない。搬送能力が分析装置の処理時間に比べて十分速ければ、共通搬送路を複数の分析装置で競合することは極めて少なく、あったとしても順次実行することによりシステム性能に影響がないことが期待される。

このように任意の分析装置間で搬送が可能となるため、検体の追越しが可能となる。PLS では搬送路上に検体が縦列している場合、検体は分注が終了しても隣接する分析装置以外には直行できない。STS では搬送路の投入口から必要な分析装置の搬入口に検体が直行する。また、分析装置の搬出口からは任意の下流の分析装置の搬入口に検体が搬送される。縦列する検体が搬送路上で進路を塞ぐことがないため、1 つの検体の遅れが他の分析装置の空きを招くような事態を抑制できる。

STS におけるもう 1 つの特徴はバッファである。分析装

置には、搬入口と搬出口にそれぞれ最低1つのバッファが用意される。検体がこのバッファに搬送されるため、搬送路を常にクリアな状況に維持することができる。加えて、このバッファにより検査項目のばらつきが平滑化される。

以上のようにSTSでは追越し機能とバッファにより検査項目のばらつきによる処理能力劣化を抑制する。

### 3. システム性能解析

#### 3.1 性能尺度と検査系列

本研究においてシステム性能の評価尺度として **makespan** を用いる。すなわち、一定の検体列をシステムに投入してから、全検体が分注処理を終えて搬送路出口に出てくるまでの時間を比較する。

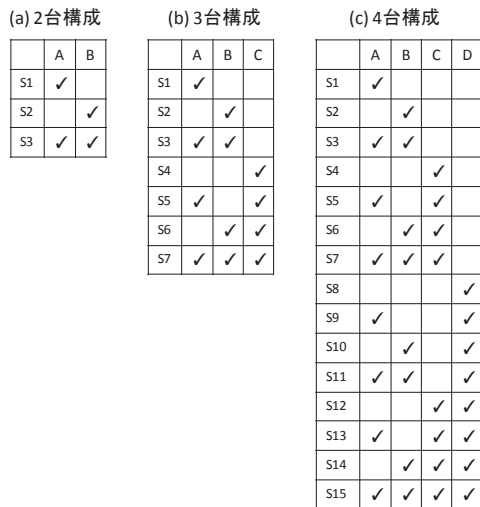


図 3 投入する検査系列

Figure 3 Inspection Sequence to Be Tested.

2つのシステムを比較するには同じ依頼の検査項目をもつ検体列(以下、**検査系列**と呼ぶ)を流して **makespan** を比較する。検体が分注されるために経由する分析装置列を**装置経路**と以下呼ぶ。比較に使う検査系列は、①平均として装置の処理時間が均衡していて、かつ、②装置経路がランダムである必要がある。前者①の要件から、分析装置毎で1検体が処理される時間を全て同じ時間とする。つまり、1検体の処理時間は一律に固定の値とする(以後**1単位時間**と呼ぶ)。これは、装置当たりの平均処理時間に相当する。

後者②の要件を満たすため図3に示すような装置経路の組み合わせを考える。図(a)は分析装置が2台の場合の装置経路3種が示されている。2進法における2ビット列の組み合わせの内、'00'を除いた構成になっている。本論文において、検査系列はこの図が示すような装置経路をもつ検体がランダムに並んだ列とする。装置数は2台から4台までを対象とし、図(a)と同様に3台構成、4台構成の装置経路はそれぞれ図(b), (c)とする。

検体数を  $n$  個、分析装置を  $m$  台とすれば、検査系列は、 $m$  ビットによって表現される装置経路を並べた長さ  $n$  の配

列になる。

#### 3.2 PLS と STS の差

8 検体の検査系列を投入するケースを考える。列の先頭から検体識別子を  $a1, b2, a3, a4, b5, b6, a7, b8$  (接頭子  $a, b$  はそれぞれ分析装置 A, B で検査依頼された検体を意味する) と名付ける。

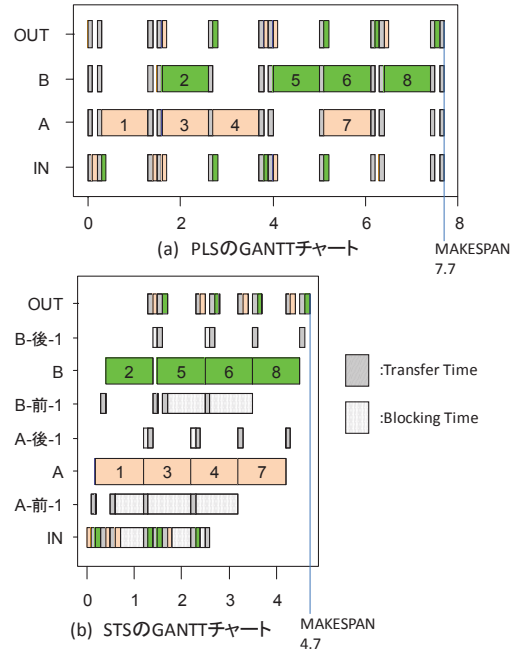


図 4 PLS と STS の検体処理動作

Figure 4 Sample Flow in PLS and STS.

PLS にこの検査系列が投入されると、PLS の搬送路の A, B の分注位置には、(a1,null), (b2,a1), (a3,b2), (a4,a3), (b5,a4), (b6,b5), (a7,b6), (b8,a7) (null,b8) の検体の組が停止してはシフトする。ここで null は検体が存在しないことを意味する。この内、(b2,a1), (b5,a4), (b8,a7) は A, B いずれの分析装置とも分注を行わない。分注がなくても搬送路の入口出口においてそれぞれ搬入準備、搬出準備が動作するので、その準備時間分搬送路は停止する。分注する検体の組、例えば (a3,b2) では  $a3$  は分析装置 A に、 $b2$  は分析装置 B に分注される。搬送路上の全検体において分注が終了すると搬送路はシフトする。

この動きを図4(a)にガントチャートで示す。横軸が時間、縦軸には下から搬送路入口(IN)、分析装置 A、分析装置 B、搬送路出口(OUT)の位置であり、斜線矩形で搬送路が動作している時間帯、数字入り矩形で分注が行われている時間帯を示す。矩形内の数字は検体番号である。分注が行われていない検体は空白になっている(例えば、(b2,a1) の  $b2, a1$  や (a4,a3) の  $a3$ )。この例で makespan は 7.7 単位時間となっている。

一方、同じ検査系列を STS に投入した場合のガントチャートは図(b)になる。この例では分析装置の搬入口・搬出口それぞれに1個のバッファ(例えば、分析装置 A の場合、図中の A-前-1 と A-後-1)が設置されている。検体  $a1$  につい

て説明すると、搬送路入口で搬入準備が行われた後、搬入口(IN)から分析装置 A の搬入口バッファ(A-前-1)に検体 a1 は運ばれる。この際、IN、搬送路、A-前-1 は検体 a1 の搬送に占有され、IN と A-前-1 は共に搬送時間を費やす(図中、斜線矩形)。次に、A-前-1 から分析装置 A の分注位置まで検体 a1 は空き時間無しで運ばれる。バッファから装置分注位置への搬送は分析装置の分注周期内で十分に処理できるため、分析装置内の反応容器に空きを生じない。従って、バッファ内の検体は空き時間なく分析装置の処理に移る。但し、装置分注位置に既に別検体が処理中であれば、バッファの検体は当然待たされる(ブロッキング)。a1 は分析装置 B での分注が不要のため、直接出口に送られて追い越しが発生する。このような追い越しにより、出口 OUT に現れる検体の順番は a4 と b5 が投入順番と逆転している。

この例では makespan は PLS が 7.7、STS が 4.7 であり、STS が PLS の 61% であり、従って STS が PLS を 39% 圧縮している点で STS は PLS に比べてシステム性能が優れているといえる。このような空きの違いが現れる理由は、検査系列における装置経路のばらつきに対して STS のバッファ及び追い越し機能が作用しているためと考えられる。装置経路のばらつきで発生する空きを STS はバッファ及び追い越し機能により抑制している。

### 3.3 検査距離、圧縮率、及び前提条件

システム性能の差は、空き時間の差に起因する。本研究では空き時間情報を引き出すために、検査距離という指標を導入する。そこで、検査距離及び関連する指標について定義する。

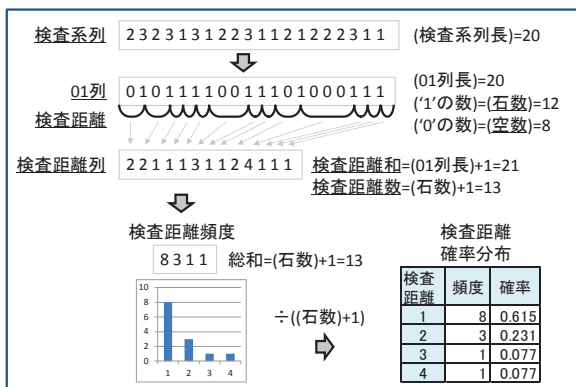


図 5 検査距離と確率分布の定義

Figure 5 Definition of Testing Distance and Probability Distribution.

図 5 を参照しながら、以下定義する。検査系列は検体毎に依頼される装置経路の列である。例えば、分析装置が 2 台の場合には、検査系列の要素である装置経路は 2 ビットの数値で表現され、LSB(Least Significant Bit)が搬送路の最初に接続されている分析装置 A に、MSB(Most Significant Bit)が後続の分析装置 B に対応して、オンであれば経由しオフであれば経由しないことを示す。ここで特定の分析装

置に着目して、そこに経由するか否かは、例えば、分析装置 A については LSB が 1 か 0 かで表現され、その列を 01 列とする。

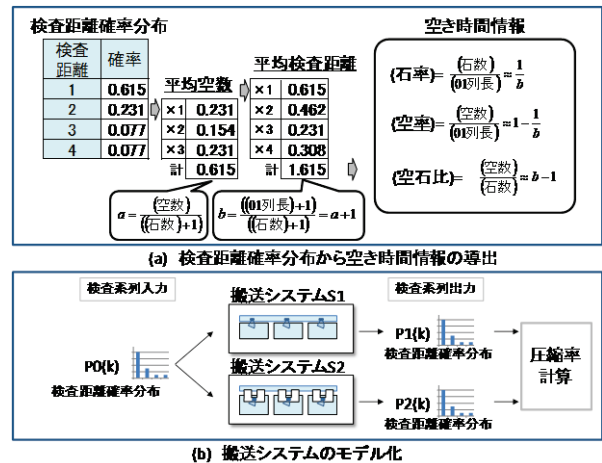


図 6 確率分布と空率

Figure 6 Probability Distribution and Hole Rate.

この 01 列中の '1' の数を石数、'0' の数を空数とする。01 列中、'0' を挟む 2 つの '1' の距離を検査距離、その検査距離の列を検査距離列と定義する。'1' が隣り合っているならば検査距離を 1 として、'0' を n 個挟んでいれば n+1 とする。01 列の両端境界は検査距離計算上 '1' とみなす。例えば、図の 01 列の最初は '01' で始まるので、境界を '1' とみなすため検査距離は 2 となる。検査距離列における要素の和は 01 列長+1 であり、検査距離列の要素数は石数+1 になっている。検査距離列は検査距離頻度にまとめることができ、検査距離数で割ることにより検査距離確率分布が作られる。

以上が検査距離確率分布の導出までの流れとなる。次に、図 6(a) を使って、確率分布から空き時間情報を導出する。確率分布から平均空数(検査距離当たりの空数平均)、平均検査距離(検査距離当たりの長さ平均)が求まる。式はそれぞれ図中の式 a, b にあたる。b=a+1 なので、a, b の一方が求まれば他方が計算される。この値により石率(01 列内の '1' 出現率)、空率(01 列内の '0' 出現率)が求まる。a, b 式内には +1 が現れて正確には一致しないが、この +1 が無視できる十分に大きい検査系列を扱うため、a, b を利用できる。また、石数に対する空数の割合を空石比と定義する。この指標は圧縮率の計算上活用できる。

この空き時間情報から圧縮率を導出する。システム S1 とシステム S2 に同じ検査系列を流し、それぞれの装置で 01 列を観測する。S2 の圧縮率は 01 列長の差が占める S1 の 01 列長の割合となる。

$$\begin{aligned}
 R_{cmp} &= \frac{(S1のmakespan)-(S2のmakespan)}{(S1のmakespan)} \\
 &= \frac{(S1の01列長)-(S2の01列長)}{(S1の01列長)} \\
 &= \frac{(S1石数+S1空数)-(S2石数+S2空数)}{(S1石数+S1空数)}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{(S1空石比) - (S2空石比)}{(1 + S1空石比)} \quad (3.3.1)$$

圧縮率  $R_{cmp}$  は、(3.3.1)式により各システムの空石比から導出される。式に至る第 1 式から第 2 式に至る過程で、makespan を 01 列長に入れ替えている。01 列長は装置一台について検査系列を切り出したものであり(図 5), makespan は装置台数分ある 01 列長の中から一番遅いものの最終時刻になる。従って makespan と 01 列長は厳密には異なるが、検体が各装置を均一に経路していること、よって装置間で 01 列長が均一化していること、により makespan は 01 列長の平均に近くなることを仮定している。第 2 式では S1 石数と S2 石数が現れるが、同じ系列を流しているため相殺される。第 2 式の分母分子を S1 石数で割ることで(3.3.1)式に至る。

以上をまとめると、2 つのシステムにおける検査距離確率分布が分かれば、圧縮率が求まる(図 6(b))。搬送システムはフィルタのように作用して、検査距離確率分布を変換する。そこで確率分布を変換するフィルタ式を搬送システムのモデルとして導入する。

本節の最後に、PLS と STS を比較するために設定する 2 つの前提条件を述べる。1 つ目の条件として、搬送時間を 0 にする。理由は、PLS では一般に検体数に比例して搬送時間が makespan に加算され、過度に STS に有利になるため、及び、比較結果を検体数から独立にするためである。

2 つ目の条件として、搬送路の入口における搬入準備または出口における搬出準備の時間を 0 とする。これも 1 つ目と同じ理由による。

この 2 つの前提条件により、搬送システムから出力される検査距離が全て整数化(1 単位時間の倍数)され、分布計算が簡易になるという利点も生まれる。

### 3.4 圧縮率解析

検査距離の確率として以下が導出される。

$$P(k) = (1-q) \cdot q^{k-1} \quad (3.4.1)$$

$P(k)$  は、01 列中に検査距離  $k$  が出現する確率であり、 $q$  は 0' の出現確率である。これは、 $P(k+1)$  は  $P(k) \times q$  であること、及び、 $P(k)$  の級数が 1 となることより導かれる。

表 1 入力検査系列の検査距離

Table 1 Testing Distance of Input Testing Sequence.

装置台数	検査距離の確率関数	平均検査距離長	石率	空率	空石比
2	$P_2(k) = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{k-1}$	$\sum_{k=1}^{\infty} k P_2(k) = \frac{3}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
3	$P_3(k) = \left(\frac{4}{7}\right) \cdot \left(\frac{3}{7}\right)^{k-1}$	$\sum_{k=1}^{\infty} k P_3(k) = \frac{7}{4}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{3}{4}$
4	$P_4(k) = \left(\frac{8}{15}\right) \cdot \left(\frac{7}{15}\right)^{k-1}$	$\sum_{k=1}^{\infty} k P_4(k) = \frac{15}{8}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{7}{8}$

投入する検査系列(図 3)を見れば、装置台数によって 0'

の出現確率が異なることが分かる。これを反映して、装置毎に検査距離確率関数を表 1 にまとめる。P のサフィックスは装置台数を示す。

以上の確率関数は入力検査系列の性質になる。検査系列がシステムに投入され、リアルタイムスケジュールされると空気が圧縮されて、確率分布に変化が現れる。

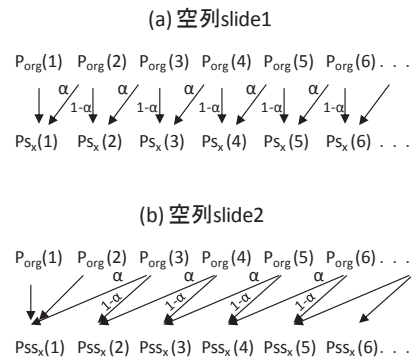


図 7 フィルタの構造

Figure 7 Filter Structure.

入力検査系列をシステムに投入すると、検査距離分布における検査距離 2 以上(空気が 1 以上)の頻度が縮退して、少ない検査距離に移動することが推定される。その移動をフィルタ式に表現すると以下 2 式が考えられる。

$$P_{S_x}(n) = \begin{cases} P_{ORG}(1) + \alpha \cdot P_{ORG}(2) & : n=1 \\ (1-\alpha) \cdot P_{ORG}(n) + \alpha \cdot P_{ORG}(n+1) & : n \geq 2 \end{cases} \quad (3.4.2)$$

$$P_{SS_x}(n) = \begin{cases} P_{ORG}(1) + P_{ORG}(2) + \alpha \cdot P_{ORG}(3) & : n=1 \\ ((1-\alpha) \cdot P_{ORG}(n+1) + \alpha \cdot P_{ORG}(n+2)) & : n \geq 2 \end{cases} \quad (3.4.3)$$

式(3.4.2)は高々 1 個空気が減少するフィルタ式、式(3.4.3)は空気が 1 から 2 個減少するフィルタ式になっている。

これらを模式的に描いたのが図 7 である。前者を空列 slide1、後者を空列 slide2 と名付ける。式中、 $P_{ORG}(n)$  は入力検査系列における検査距離分布を示す。

搬送システムの出力検査距離確率分布に対して上式がフィットするようにパラメータを調整することで、搬送システムはフィルタ式として抽象化される。

## 4. 数値実験と結果考察

### 4.1 シミュレータの構成

PLS/STS の 2 シミュレータには、図 3 に基づいてランダムに発生された入力検査系列を投入する。出力は makespan(前検査系列の終了時刻)と各装置における空き情報になる。統計処理用言語[5]を用いて実装している。

### 4.2 STS の PLS に対する圧縮率

数値実験の条件として、検査系列の長さは 400、いずれの装置構成も 40 回投入しており、出力された全検査距離頻度分布を加算した後全頻度数で割り確率を求めている。

PLS/STS とともに、搬送時間及び搬送路の搬入準備時間及び搬出準備時間は0である。STSのバッファ数は1つである。入力系列の確率分布からPLS/STSの確率分布を得るフィルタ式を検討した結果、3.4節で述べた空列 slide を改良した形となった(式(4.2.1), (4.2.2)).

$$P_{PLS}(n) = \begin{cases} P_{ORG}(1) + \alpha \cdot P_{ORG}(2) & : n=1 \\ (1-\alpha) \cdot P_{ORG}(2) + \alpha \cdot P_{ORG}(3) + \beta \cdot P_{ORG}(3) & : n=2 \\ (1-\alpha) \cdot P_{ORG}(3) + \alpha \cdot P_{ORG}(4) + \beta \cdot P_{ORG}(4) - \beta \cdot P_{ORG}(3) & : n=3 \\ (1-\alpha) \cdot P_{ORG}(n) + \alpha \cdot P_{ORG}(n+1) + \beta \cdot P_{ORG}(n+1) - \beta \cdot P_{ORG}(n) & : n \geq 4 \end{cases} \quad (4.2.1)$$

$$P_{STS}(n) = \begin{cases} P_{ORG}(1) + P_{ORG}(2) + \alpha \cdot P_{ORG}(3) & : n=1 \\ ((1-\alpha) \cdot P_{ORG}(3) + \alpha \cdot P_{ORG}(4)) \cdot (1+\beta) & : n=2 \\ ((1-\alpha) \cdot P_{ORG}(4) + \alpha \cdot P_{ORG}(5)) \cdot (1+\beta) - \beta \cdot (1-\alpha) \cdot P_{STS}(3) & : n=3 \\ ((1-\alpha) \cdot P_{ORG}(n+1) + \alpha \cdot P_{ORG}(n+2)) \cdot (1+\beta) - \beta \cdot P_{STS}(n) & : n \geq 4 \end{cases} \quad (4.2.2)$$

このフィルタ式は空列 slide に対してパラメータ  $\beta$  を付加している。 $\beta$  が0の時は丁度空列 slide と一致する。 $\beta$  により、空列のシフトを加速している。

表2に圧縮率の結果を一覧する。表(a)は式(4.2.1)(4.2.2)に入力検査系列の確率分布を与えて、PLS/STSの確率分布にベストフィット(誤差の二乗和が最小化)するよう $\alpha$ と $\beta$ を調整した結果である。それぞれの空石比から式(3.3.1)により圧縮率を求めている。表(b)はシミュレータに検査系列を投入して得られた確率分布から空石比及び圧縮率を計算している。また、表(c)は別途検査系列長400を40回シミュレータに流して、空石比を使わず、直接makespanから圧縮率を求めている。表(a)(b)(c)の圧縮率はかなり近い値を示しており、その差は表(c)の標準偏差(SD)内に収まっている。この点で、フィルタ式(4.2.1)(4.2.2)はPLS/STSをモデル化していること、つまり解析にて述べたように、搬送システムがフィルタ式としてモデル化されていることを示す。またSTSはPLSに比べて4台構成において処理時間を30%圧縮(表(a)(b)内0.306, 表(c)内mean(平均)0.308)することが分かった。

表2 圧縮率

Table 2 Compression Rate.

(a) フィルタ式から求めた圧縮率

	PLS			STS			圧縮率
	alpha	beta	空石比	alpha	beta	空石比	
m=2	0.50	0.01	0.328	0.18	0.16	0.128	0.151
m=3	0.23	0.10	0.627	0.43	0.26	0.193	0.267
m=4	0.11	0.08	0.804	0.42	0.30	0.253	0.306

(b) 頻度分布から求めた圧縮率

	PLS	STS	圧縮率
	空石比	空石比	
m=2	0.330	0.132	0.149
m=3	0.608	0.195	0.257
m=4	0.784	0.238	0.306

(c) makespanから求めた圧縮率

	PLS makespan		STS makespan		圧縮率	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
m=2	355.8	5.79	302.8	6.64	0.149	0.014
m=3	369.0	6.13	275.4	7.98	0.253	0.018
m=4	383.5	3.93	265.4	5.29	0.308	0.015

### 4.3 バッファ数とシステム性能

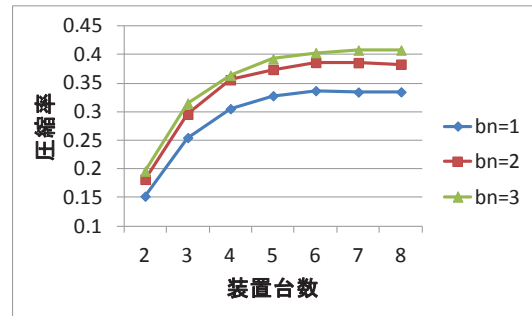


図8 装置台数とバッファ数と圧縮率

Figure 8 Instruments, Buffers, and Compression Rate.

図8に装置台数を8台まで増やして、バッファ数が1から3(図中、bn=1からbn=3)まで圧縮率をプロットしたグラフを示す。全ての台数においてbn=2とbn=3では圧縮率の大きな改善はない。装置8台構成ではbn=1で33%, bn=2で38%で、5ポイントの差は装置4台構成と変わらない。まとめると、バッファ数3つは2つに比べて効果を期待すべきではなく、バッファ数2つは1つに比べて圧縮率を4台構成以上で5ポイントほど改善する。

### 5. おわりに

医療の検査業務に使われる検体搬送システムの性能を解析し、それを実験により検証した。検体搬送システムには、搬送路沿いに分析装置を並べるPLS方式に対して、追越し機能・バッファ機能を付加したSTS方式は4台構成において処理時間を30%圧縮することが分かった。

発表においては、限界搬送時間とシステム性能との関係についても論じる。

本研究は、既存の4台を超えた構成における搬送能力及び2つ以上のバッファ数がシステム性能与える影響を明らかにして、将来の開発への展望を与えている。

### 参考文献

- 1) 高畑藤也, 池田俊幸, 松本孝一 ほか: 検査の全自動化を目指した検体検査トータルシステム, 日立評論, Vol.73, No.11, pp. 1003-1008 (1991).
- 2) 桶野励, 原田倫孝: 複数台のコンベアベルトを組み合わせた搬送システムの構築, 精密工学会誌, Vol. 78, No. 12, pp. 1105-1111 (2012).
- 3) 木瀬洋, 関口恭毅: スケジューリング理論の基礎と応用-II: ジョブショップ問題とその計算複雑さ, システム制御情報学会誌, Vol. 44, No. 10, pp. 601-608, (2000).
- 4) 三巻弘, 児玉隆一郎, 栗山裕之: 臨床検査の効率的な運用に適したモジュール組合せ方式の血液自動分析装置, 日立評論, Vol. 79, No. 10, pp. 757-762 (1997).
- 5) R Core Team (2013): R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org/>.