

# 立体倉庫の現状と最適設計

唐 澤 豊

## はじめに

近年自動倉庫の発展は目ざましいものがある。昭和30年代後半には、ほとんど稼働していなかった完全自動倉庫(Computer Controlled Warehouse)も、現在ではどこにいても見ることができる。

これを反映して、立体倉庫の年商も約350億円から400億円の規模になっている。いまや設置台数あるいは倉庫システムのレベルは世界の最高水準をいっているといえる。

しかしながら、倉庫システムで改善すべき点がないわけではない。ことに、システムの“ユニークネス”という点でそれが考えられる。今後の課題といえよう。

さて、このような背景のもとに、1つの重要なアプローチとして、“倉庫設計の最適化”の問題をあげることができる。一般には、シミュレーションでこの問題を処理している。本文では、設定された機能を満足させ、かつ設備投資を最小化する問題、非線形混合整数計画法で解いた結果を概説する。

## 1. 立体倉庫の現状

立体倉庫の売上高は、次のように推移してい

からさわ ゆたか 日本アイ・ピー・エム㈱

る。

'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80
22	26	23	22	25	30	33	(35)	(35)

(出典：1978年5月1日付運輸タイムズ紙による)

昭和47年に約220億円の年商であったが昭和53年には1.5倍の330億円に達している。最近では、大体350億円程度のところで横這い状態になっている。これを種々の角度から分析すると次のとおりである。

### 1.1 立体倉庫設置状況

立体倉庫の設置台数は、昭和40年から同47年までの合計が688台であるのに対し、昭和48年にはその42.3%を占める291台になっている(表1)。昭和48年こそ立体倉庫時代の幕明けの時といえよう。現在の累積設置台数は2334台でクレーン数4718台となっている。また、立体倉庫の規模あるいは処理量を示す倉庫当りパレット数は1272枚となっている。倉庫当りクレーン台数は2台で、この傾向はほとんど変化していないことがわかる。

### 1.2 用途別立体倉庫設置台数

昭和48年以降昭和54年度までの立体倉庫設置状況を用途別にみると表2のとおりである。

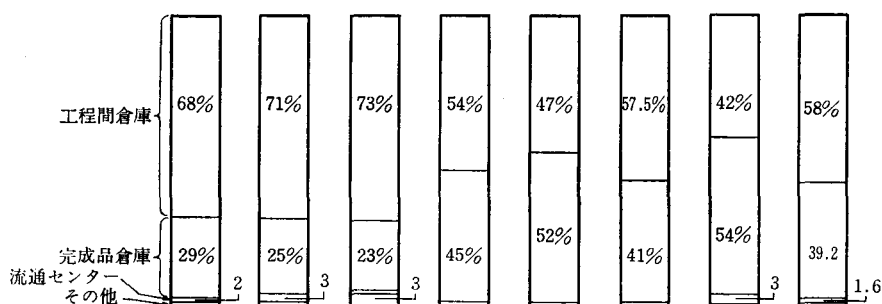
合計欄でみると、工程間倉庫が58%で955台と過半数を占めていることがわかる。ついで、完成

表 1 立体倉庫設置台数推移表

	昭和 40—47年	48	49	50	51	52	53	54	合計
設置台数	688	291	243	164	222	228	207	291	2,334
パレット総数	963,535	405,336	414,220	209,006	231,175	230,691	214,834	299,933	2,968,730
クレーン総数	1,540	563	492	318	413	431	378	583	4,718
平均クレーン 数/H.W	2.2	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	2	2
平均パレット 数/クレーン	626	720	842	657	560	535	568	514	629
平均パレット 数/H.W	1,400	1,398	1,705	1,274	1,041	1,012	1,038	1,031	1,272

表 2

	昭和48(%)	49(%)	50(%)	51(%)	52(%)	53(%)	54(%)	合計(%)
工程間	196(68)	173(71)	119(73)	120(54)	106(47)	119(57.5)	122(42)	955(58)
完成品	85(29)	61(25)	38(23)	101(45)	118(52)	85(41)	158(54)	646(39.2)
流通センター	4(1)	6(3)	2(1)	1(-)	3(1)	2(1)	9(3)	27(1.6)
その他	6(2)	3(1)	5(3)	-(-)	1(-)	1(0.5)	2(1)	20(1.2)
計	291(100)	243(100)	164(100)	222(100)	228(100)	207(100)	291(100)	1,648(100)



品用倉庫で39.2%、646台となっている。さらに流通センターが1.6%、27台となっている。

ここで工程間倉庫とは、工程に補給する部品、半製品を格納し、工程に補給するための立体倉庫を意味している。電気メーカーでは、東芝、松下などの倉庫、自動車メーカーのオーバヘッド・コンベアを使用し、工程に補給しているシステムなどが代表といえよう。

完成品倉庫は、完成品を保管する倉庫であり、日本合成ゴム、日本精工、花王石鹼など技術的に高度な倉庫が多い。ことに、この分野では、食品、薬品、化粧品など包装が規格化された消費財(Consumer Packed Good)を扱う産業で規模

の大きな倉庫が多い。

流通センターでは、流動貯蔵(Live Storage)などに立体倉庫が設置されるが、一般的にその性格上、仕訳機能が重視される。長崎屋の音声入力による仕訳システムなど典型的なケースである。

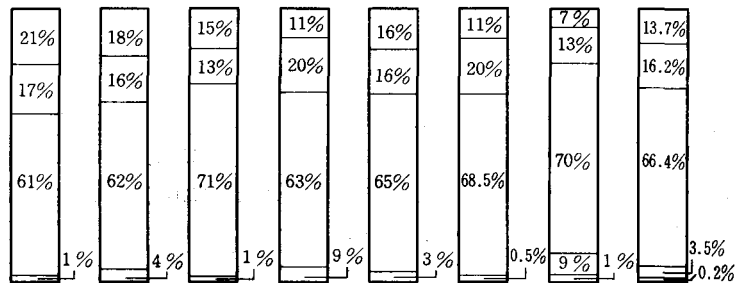
全体的にみて、近年の傾向は、完成品倉庫が比重を大きくしていることがわかるが、累積では、工程間倉庫58%、完成品倉庫39.2%、流通センター1.6%、その他1.2%となっている。

### 1.3 倉庫種別立体倉庫設置台数

昭和48年から同54年までの合計(表3)をみると、機械化倉庫491台、29.9%、自動化倉庫1093

表 3

	昭和48年	49年	50年	51年	52年	53年	54年	計 (%)
一機械化倉庫	(110)	(82)	(46)	(69)	(62)	(64)	(58)	491 (29.9)
・手動運転型	61	43	25	25	30	22	19	225 (13.7)
・遠隔操作型	49	39	21	44	32	42	39	266 (16.2)
一その他	0	0	0	0	0	0	4	4 (0.2)
一自動化倉庫	(181)	(161)	(118)	(154)	(166)	(143)	(229)	(1,151) (69.9)
・半自動倉庫	178	151	116	140	162	142	204	1,093 (66.4)
・自動倉庫	3	10	2	14	4	1	25	58 (3.5)
計	291	243	164	223	228	207	291	1,646 (100)



台、69.9%となっている。後者の中で、電子計算機で、クレーン、搬送機器を制御している自動倉庫は58台で3.5%となっている。一方、電子計算機によるオフライン制御 (Off line Computer Controlled Warehouse) は、1,093台、66.4%という数値を示し、種別では最大の設置台数であることがわかる。

手動運転型装置とは、スタッキング・エレベータに人間が乗車し、運転してパレットの格納抽出を行なうシステムである。過去の推移からみると、やや減少気味である。

遠隔操作型は、操作卓を操作することによって、スタッキング・エレベーターを作動させ、パレットの格納抽出を行なうシステムである。通常、コンピュータから、在庫表、抽出格納についてのアウトプットが打出され、これにもとづいて作業員が倉庫の管理を行なっている。

半自動倉庫は、オフライン・コンピュータ制御のシステム (Off-line Computer Controlled System) で、比較的コンスタントに設置されている。主に、コンピュータからアウトプットされたカードやテープを入力として、スタッキング・エ

レベータあるいはスタッカー・クレーンを作動させ、パレットの格納抽出を行なうシステムである。

自動倉庫は、庫内機器がコンピュータによって直接制御されているシステムである。最近では、ミニコン、パソコンとコンピュータが小型化しているのでコスト安、人件費増という環境からしてこの分野はますます多くなることは当然である。

#### 1.4 立体倉庫設置台数ベスト10

以上、立体倉庫の設置台数を種々の角度から眺めたが、最後に設置台数のベスト10を業種別にみると表4のとおりである。

過去7年間(48年~54年)の合計をみると、一般機械369台で第1位、ついで化学が185台で第2位、電気機械179台で第3位となっている。この順位は、51年から54年までの4年間変わっていない。第4位は食品業界で111台、第5位は、輸送機械で98台となっている。

設置台数の多い業界の特徴は、取扱品目がユニット・ロード化しやすい業種である。

表 4 立体倉庫設置台数ベスト10

	48年			49年			50年			51年			52年			53年			54年			合計		
	H	P	C	H	P	C	H	P	C	H	P	C	H	P	C	H	P	C	H	P	C	H	P	C
食品	19	94	46	14	100	28	11	44	18	17	168	24	19	26	28	16	15	31	15	9	21	111	456	196
繊維	16	7	29	7	8	16	4	5	8	5	7	15	10	14	26	6	4	11	4	2	6	52	47	111
化学	35	34	81	38	50	78	25	31	53	31	34	70	31	35	59	25	42	4	44	48	101	185	226	364
鉄鋼	5	3	7	9	4	12	3	4	4	6	1	7	6	5	9	6	2	7	3	3	5	38	22	51
非鉄金属	20	25	43	9	7	15	6	5	11	4	5	8	11	4	18	7	8	13	5	4	7	62	53	115
一般機械	72	48	106	44	73	67	42	26	72	53	30	85	59	48	101	28	36	51	71	69	122	369	330	604
電気機械	35	25	61	36	40	75	9	14	21	22	11	32	18	11	29	23	11	31	36	34	70	179	146	319
輸送機械	16	53	47	11	41	41	17	22	33	11	21	29	16	46	48	13	12	32	14	26	42	98	221	272
卸問屋	8	5	19	9	17	19	4	1	7	7	2	10	6	1	7	7	10	18	20	9	33	61	45	113
運輸倉庫	8	14	22	5	10	15	1	0.2	1	3	4	4	11	12	19	5	6	10	2	5	8	35	49.2	71
小計	234	308	461	182	350	366	122	152.2	228	157	283	284	187	202	344	136	146	208	214	209	415	1,190	1,595.2	2,216
その他	57	97	102	61	64	126	42	56.8	90	165	64	129	41	28	87	68	64	164	77	91	168	456	521.8	956
合計	291	405	563	243	414	492	164	209	318	222	349	413	228	230	431	204	210	372	291	300	583	1,646	2,117	3,172

Note: No. of pallet (Unit: 1,000)

H…立体倉庫

P…パレット

C…クレーン

## 2. 倉庫の最適設計の一例

倉庫の最適設計問題で最も重要と考えられることは、意思決定者に代替案を数多く提供することである。換言すれば、意思決定支援型モデルを提供し、幅のある意思決定を実現できるようなシステムを提供することである。この例では、非線形混合整数計画法にもとづいたモデルを作り、自動倉庫に必要なコストと機能とのトレード・オフ分析をすることにより、下記の計算結果を得た。なお、詳細については、文献 [1] を参照されたい。

第1に計算のためのデータは、表5に示されている。

つまり、棚の規格、棚数、命令数、稼働時間、クレーンのスピード、クレーンの格納抽出時間、ラック費用、クレーンの費用、ビルの高さ（初期値）とビルの建設費、土地の費用などを基本データとした。

計算結果は図1および図2で示されている。

図1では、クレーンの処理能力とクレーン台数の関係を示したものである。すなわち、

- クレーンが6台の場合、1時間当りのパレットの処理は200枚から220枚。

- クレーン7台の場合は230枚以上約270枚

が、倉庫に対する投資が最小になっている。以下同様である。

図2では、パレットの処理量/時と最適コストとの関係を示している。すなわち、

- パレット200枚から220枚までの処理に

表 5 The data of constants

Dimension of Rack	$h=4.0\text{ft}$ $w=3.3\text{ft}$ $d=4.0\text{ft}$
Number of pallets	$n=14,500$
Number of commands	$z=2,156$
Operating time	$T_0=6.0$ to $10.0\text{hr}$
Horizontal crane velocity	$v_x=350\text{ft/min}$
Vertical crane velocity	$v_y=60\text{ft/min}$
Shuttle time	$T_s=0.5\text{min}$
Nominal number of pallets height	$n_0=6$
Base rack cost	$R_0=8,000\text{ yen/pallet}$
Incremental rack cost	$R_1=60\text{ yen/pallet}$
Stacker crane cost	$c=8,000,000\text{ yen}$
Nominal building height	$H_0=25\text{ft}$
Base building cost	$B_0=3,440\text{ yen/sq. ft}$
Incremental building cost	$B_1=100\text{ yen/pallet}$
Building factor	$K_1=1.1$
Land factor	$K_2=1.05$
Land cost	$l=600\text{ yen/sq. ft}$

ついて、その最適コストは3.3億円から3.4億円へと上方にシフトしていることがわかる。

両者を1つの図として考えると、

「1時間当りパレット処理量とクレーン台数と最適費用」が同時にわかる図になっている。

与えられた条件下で、

- クレーン台数6台の場合、パレット処理量は200枚から220枚と幅があるが、この場合最適費用も変化(3.3億円から3.4億円へと費用カーブは上方へシフトしている)する。
- クレーン台数を一定とした場合にも処理量と最適コストの変化を考えて意思決定者はどの点を選択するかを検討することができる。
- パレット処理量に幅がある時、クレーン台数を6台にするか7台にするかを選択できる。
- クレーン台数が6台であるとすればパレット処理量の最高は220枚/時である。クレーン台数を6台にするか7台にするかはパレット処理量を処理能力の余裕を考えて決める必要がある。

クレーン台数、パレット処理量、最適費用の三者の数値を変化させ、最適と思われるものを選択できる点に、当システムの意義がある。線形の場合であれば、クレーン台数と処理能力がそれぞれ決まると最適コストは1つしか決まらない。本ケースでは、クレーン台数と処理能力の変化に対応して、最適コストを得ることができる。プログラム自体は対話形式のものであり、トップ・マネジメントの要求に応えることができるようになっている。

さらに本システムでは、上記3つの要素を変化させ最適解を求めると、倉庫の高さと長さが自動的に算出されるようになっている。倉庫の最適規模が決まるわけである。

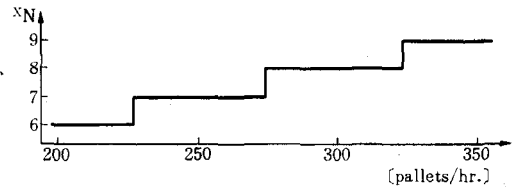


図1 Trade-off curve between crane capability and number of canes.

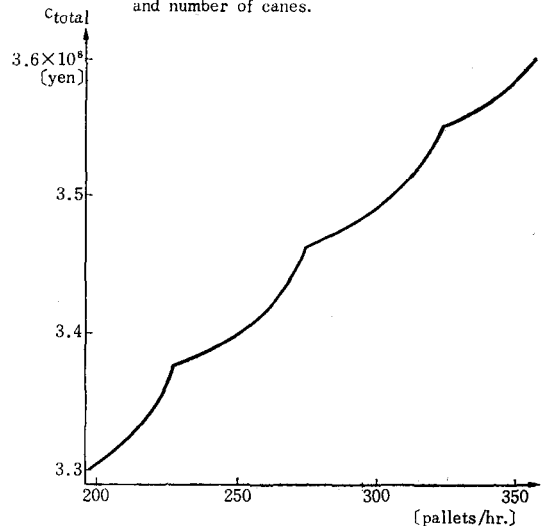


図2 Trade-off curve between cane capability and total minimum cost.

## おわりに

倉庫規模の最適問題について若干触れたが、このモデル自体についても、デュアル・コマンドにする点および結果としての数値(規模)をすべて整数にする点など改良すべき点がある。この点については次の機会に検討するよう考えている。

## 参考文献

- [1] International Journals of System Science  
1980, Vol. 11, No. 5, 567-576.  
Y. Karasawa, H. Nakayama & S. Dohi.