

## 個別生産工場における仕掛品床面積について

服部 寛\* 柴田 謹三\*\*

### 1. 問題の説明

新しい土地に、新しい工場を建設するに当って、生産機種、生産量の大体の規模、および工場敷地内の各棟の配置が、ほぼ定まっている時点で、個々の建屋の大きさを、何平方メートルにするかという問題が与えられた場合、たとえば、大物機械工場あるいは工具工場というように、具体的な建設計画になると、中に入れる機械設備の種類と台数、品物の大きさと取扱量、作業者の数、クレーンの大きさなどを頭におけば、棟高、スパンの大きさ、柱の太さなどが項大体決まり、さらに、付属設備、工具庫、図面庫、現場事務所などを考慮して、建屋の大きさは、大体の処が決ってくる。さらに類似製品を製作している、社内の他の工場などを、参考にして、常日頃今度工場を建てる時は、こんな工場を建てたいという案を、幾つか持っているのであるから（もっとも、それは理想案であって、そのまま実現させる場合は、少いかも知れないが）計画が具体化するにしたがって、具体的な条件を盛り込んで、理想案を具体案に修正することにより、建屋の大きさはほとんど決ってしまう。したがって、この種の問題を、オペレーションズ・リサーチの問題として取上げることは、あまりなかったのであるが個別生産工場において工程間の仕掛品管理の問題と関連して、仕掛品置場面積を工場建屋面積を決めるといふ問題のなかで、どのように取扱ってゆくかについて、ある試みを行ったので、報告する。

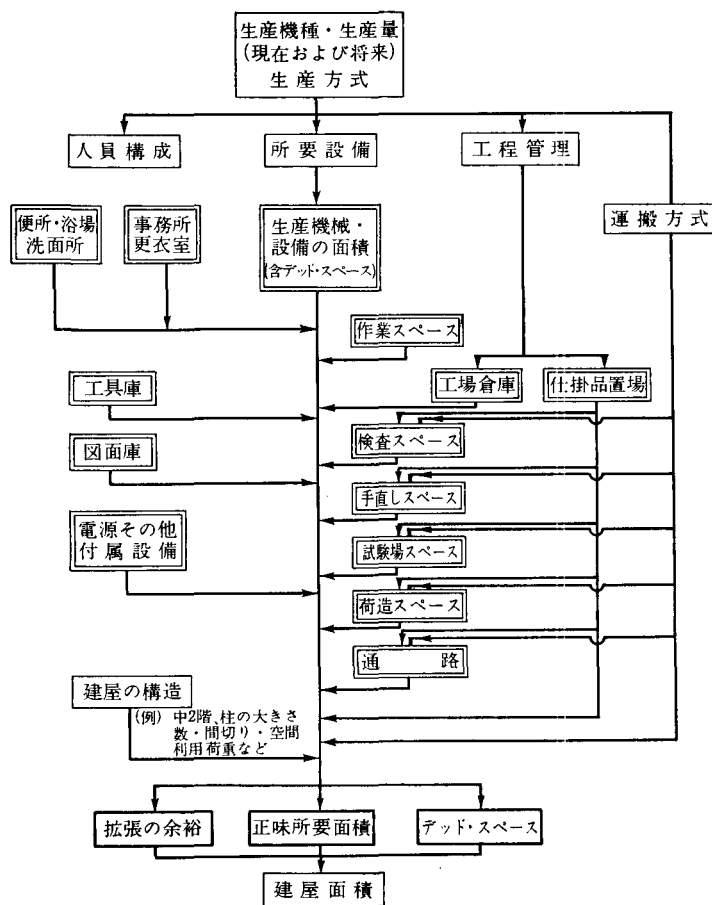
工程間の仕掛品管理の問題、すなわち、工程計画のたて方、工程管理のやり方によって、仕掛品がどうなるか、仕掛品金利の低減、工程期間の短縮という問題は、個別生産工場の製造部門におけるオペレーションズ・リサーチの最も重要な問題の一つとして、われわれの努力の大半をこれに費しているのであるが、そのことが、工場床面積とどう結びつくかというのが、今回取上げた問題である。

さて、個別生産の場合、工場建屋の床面積を定めるという問題を最初から考えてみると、第1図のように見ることが出来る。この図において所要設備から生産機械設備の面積・作業スペースの線、人員構成から事務所・更衣室・便所・浴場・洗面所の線、工具庫・図面庫・電源・その他付属設備・建屋の構造からの線、および、検査・手直し・試験場・荷造・通路などのスペース、すなわち正味所要面積およびデッド・スペースの大部分は、技術的な立場、あるいは過去の

\* 三菱電機株式会社 \*\* 三菱電気株式会社神戸製作所 昭和38年3月15日受理「経営科学」第6巻3号

実績経験および参考データにより決ってしまうのが普通であるが、工程管理から工場倉庫および仕掛品置場への線は、工程間仕掛品の在り方によって、かなり変わってくる。このところだけを取り出して、もう少し詳細に画くと、第2図のように考えることが出来る。今回は第2図の機械グループ別仕掛品スペースについて、検討したので、その理論的側面についてのみ報告することとし、各機械グループ共通の仕掛品スペース、および経済性の問題については、触れていない。

## 2. 仕掛品スペース問題の理論的側面



第1図

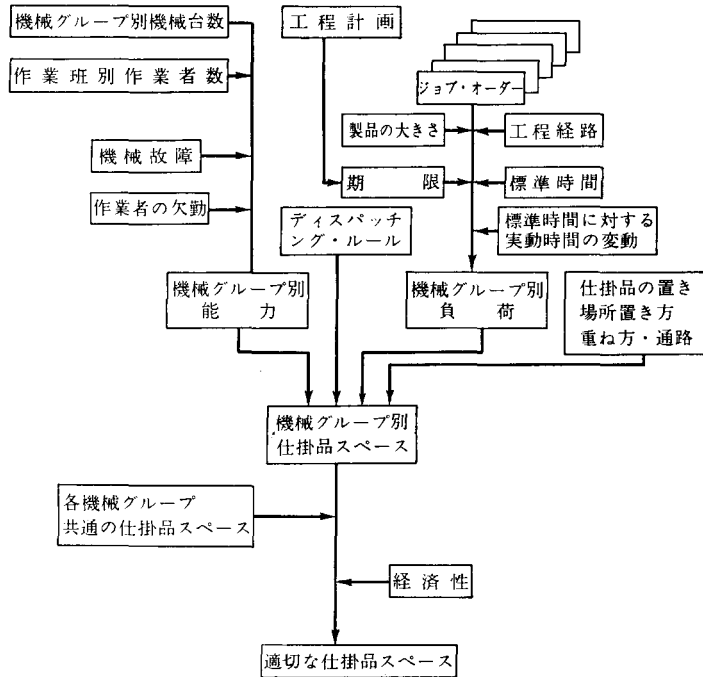
今述べたような意味での、仕掛品スペース問題の理論的側面を整理してみると、つぎのようになる。

- 1) ある機械グループで加工される。ジョブ・オーダー1件当りの品物の大きさ  $X$  (所定の置き場所に、所定の置き方をした場合の所要スペース) の累積分布関数  $F(x)$  を求める。
- 2) 仕掛品件数  $N$  (加工中と待合わせ中のジョブ・オーダー件数) の累積分布関数  $G(n)$  を求める。
- 3)  $F(x)$  および  $G(n)$  を知って、仕掛品スペース  $Y$  の累積分布関数  $H(y)$  を求める。

今  $F(x)$  および  $G(n)$  が既

知で、かつ互に独立であるとすれば、1960年東京で開催された国際統計学会で、水野幸夫氏が発表された方法<sup>(1)</sup>を用いることが出来る。即ち  $F(x)$  を1日当り需要量の分布、 $G(n)$  をリード・タイムの分布、 $H(y)$  をリード・タイム中の需要量の分布に対応させて考えて、発注点を求める要領で、仕掛品スペースを定めることが出来る。水野氏の方法を略述すれば、つぎのとおりである。

(1) Y. MIZUNO, Inventory Control System for the Parts, Bulletin de l'Institut International de Statistique, 32<sup>e</sup> Session de L'I.I.S., Tokyo 1960.



第2図 能力負荷と仕掛品スペースの関係

一般に、仕掛品スペース  $Y$  の  $k$  次のモーメント  $\mu^k_y$  が存在すれば  $Y$  の確率密度函数  $h(y)$  を、グラム-シャリエ級数を用いて、つぎのように、近似的に書くことができる。

$$h(y) = \frac{1}{\sqrt{\mu^2_y}} \left\{ \phi_0(u) - \frac{\mu^3_y}{3! \sqrt{\mu^2_y}} \phi_3(u) + \left\{ \left( \frac{\mu^4_y}{(\mu^2_y)^2} \right)^2 - 3 \right\} \phi_4(u) / 4! \dots \right\} \quad (1)$$

ただし  $u = (y - \mu^1_y) / \sqrt{\mu^2_y}$

$$\mu^1_y = \int_0^\infty y dH(y)$$

$$\mu^k_y = \int_0^\infty (y - \mu^1_y)^k dH(y)$$

$$\phi_0(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)$$

$$\phi_m(\mu) = \frac{d^m}{du^m} \phi_0(u)$$

ここで、(1) 式 { } 内を第2項まで取ることとすれば、 $Y$  の3次までのモーメントを、つぎのように仕掛件数  $N$  および品物の大きさ  $X$  の3次までのモーメントから求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} \mu_y^1 &= \mu_x^1 \mu_n^1 \\ \mu_y^2 &= \mu_n^1 \mu_x^2 + (\mu_x^1)^2 \mu_n^2 \\ \mu_y^3 &= \mu_x^3 \mu_n^1 + 3\mu_x^1 \mu_x^2 \mu_n^2 + (\mu_x^1)^3 \mu_n^3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

従って Y の  $\alpha$  パーセント・ポイント  $t$  を次式により定めることが出来る。

$$\int_0^t \frac{1}{\sqrt{\mu_y^{(2)}}} \left\{ \phi_0(u) - \frac{r}{3!} \phi_3(u) \right\} dy = \frac{\alpha}{100} \tag{3}$$

ただし  $r = \mu_y^{(3)} / (\mu_y^{(2)})^{\frac{3}{2}}$

具体的には

$$\int_0^t \phi_0(u) du - \frac{r}{3!} \phi_2(t) = \frac{\alpha}{100} \tag{4}$$

により  $\alpha$  に対して  $t$  を定め、仕掛品スペース  $S$  を

$$\begin{aligned} S &= \mu_y^{(1)} + t \sqrt{\mu_y^{(2)}} \\ &= \mu_x^{(1)} \mu_n^{(1)} + t \{ \mu_n^{(1)} \mu_x^{(2)} + (\mu_x^{(1)})^2 \mu_n^{(2)} \} \end{aligned} \tag{5}$$

で計画すれば、スペースが不足する確率は  $(100 - \alpha) \%$  である。

$\alpha$  と  $t$  の関係については、水野氏が、前述の論文で発表しておられるが、第3図を用いることも出来る。

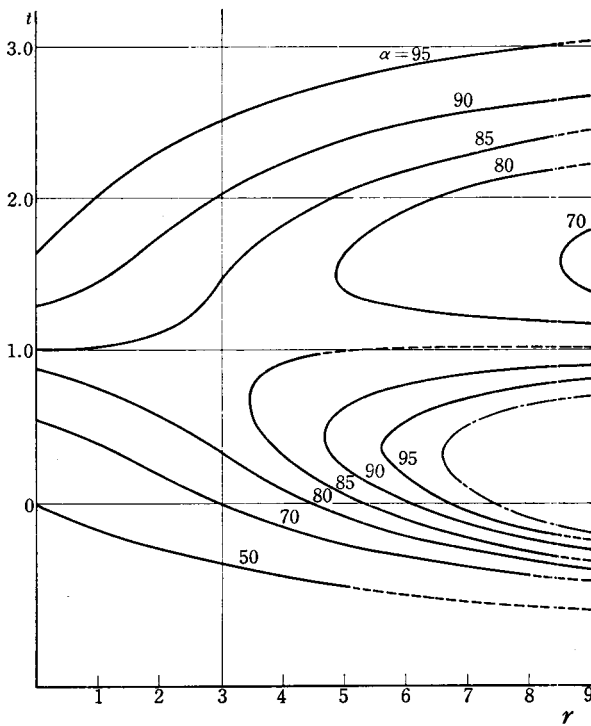
さて(5)式を用いて、仕掛品スペースを計画出来ることが判ったが、この方法を利用するには

1) F(n) および G(n) が既知で、かつ互に独立であることを前提としなければならず、さらに

2) グラム-シャリエ級数の近似の精度が問題となる。今(4)式により  $r$  をパラメータとして、 $\alpha$  と  $t$  の関係を図示すれば、第3図のとおりとなる。

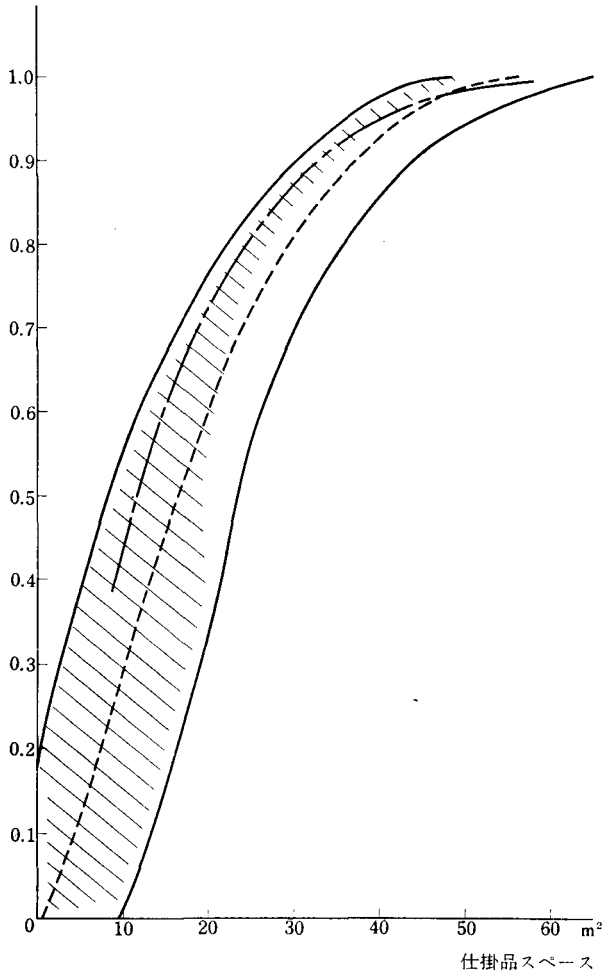
この図によれば、 $r \geq 3$  の場合の精度は、よくはないようである。これは、グラム-シャリエ級数の第2項までしか取らないためと思われるが、第3項まで入れるためには、Y の4次モーメントまで計算しなければならず、かつパラメーターが、2個必要となるため実用的とは思えない。

(例1) 機械台数 2 台、ジョブ・オーダーの到着 18 件 / 日 (ポアソン分布)、ジョブ・オーダー 1 件当りの平均作業時間 0.78 時間 (指数分布) ジョブ・オーダー 1 件当りの品物の大きさ  $1.0m^2$  (正規分布)、標準偏差



第3図  $H(t) = \int_0^t \phi_0(u) du - \frac{r}{3} \phi_2(t) = \frac{\alpha}{100}$

0.3m<sup>2</sup>/1日の稼働時間7.5時間の場合、(5)式を用いて、仕掛品スペースYの累積分布を画くと、第4図の鎖線のようなになる、これをチェックする意味で、シミュレーションを行った結果



第4図 仕掛品スペース累積分布

を示せば、実線のとおりである。

ただしこのシミュレーションは完全なランダム・アライバル、ランダム・サービスではなく、1日当りの到着件数は、ポアソン分布であるが、それが、毎日朝一度に、かたまっているものとした。そして、毎日の到着直後の仕掛件数の分布が、右側の実線、到着直前の仕掛件数の分布が、左側の実線である。従って、完全なランダム・アライバルであれば、仕掛件数の分布はおそらく、2本の実線の丁度中央、点線の位置あたりに来るであろう。鎖線すなわち(5)式では、 $G(n)$ として待合せ理論におけるM/M/2の場合の結果を用いているので、鎖線と点線とが一致することを期待したが結果的には、一致しているとは言い難い。その理由は、シミュレーションエラーよりも、むしろ(5)式の精度と考えられる。

以上は、単なる机上実験の結果であるが、現実にあてはめた場合どうなるかを考えてみると仕掛件数が増えれば、決して手を拱ねいて、見ている訳ではないから、定量的に表現することは困難ではあるが、当然何等かの作用が働いて、仕掛件数が、野放しに増えるとは考えられない。従って、現実の仕掛件数の分布は、斜線を施した領域に存在すると思われる。従って $\alpha=90\%$ の附近では、(5)式を利用し得る可能性が、充分大きいと考えられる。

### 3. $F(x)$ および $G(n)$ を求めること

#### 3.1 ジョブ・オーダー1件当たり、所要スペースの分布 $F(x)$

$F(x)$ は、各機械グループ固有の特性により異なるが、定性的には、機械によって、加工される

品物の大きさが大体規定される場合と、そうでない場合とがある。たとえば、旋盤であれば、6尺施盤と、14米の施盤とでは、加工される品物の大きさが、大体想像できるのに対して、ラヂアル・ボール盤であれば、品物の大きさよりも、むしろ、加工部位の大きさで定まる。従って前者の場合  $F(x)$  は、正規分布、あるいは、アーラング型の分布に近いが、後者の場合は、超指数型の分布に近い。

### 3.2 仕掛品件数の分布 $G(n)$

#### 1) 到着間隔の分布

受注生産工場といえども、各ジョブ・オーダーは、一定の日程計画の下に流れてくるのであるから、理論的取扱いが、便利であるという理由だけで、ランダム・アライバル、ランダム・サービスを仮定する訳にはゆかない。しかし、工場全体としての、工事の繁閑、あるいは、前工程における日程の変動などの影響により、かなりのバリエビリティが存在することも事実である。調査した結果によれば、 $k=2\sim 3$  のアーラング型の場合が多いが、第一工程だけは、毎日午後、翌日分を一度に持込むなど、特殊な機械グループもある。

#### 2) 作業時間の分布

作業時間の分布は、品物の大きさの分布あるいは、到着間隔の分布にくらべて、機械グループの性格による差があまりなく、ほとんどの場合、超指数型である。

#### 3) 仕掛件数の分布

第1表 シミュレーションの条件、および結果

機械グループ番号	機械台数	担当作業班	者数	ジョブオーダー1件当り		1ヶ月当り		負荷能力	平均仕掛件数	備考
				平均準備時間	平均主作業時間	能力	負荷			
1	1			時間	時間	時間	時間	.466	1.2	0.9
2	4	1	6	0.50	2.00	750.4	619.6	.826	11.9	6.3
3	1			1.80	7.10	187.6	144.0	.769	6.7	3.3
4	1			1.67	66.9	187.6	174.8	.932	2.1	13.7
5	15	2	20	3.0	12.0	2,812.6	2,153.4	.766	16.3	12.2
6	4			0.55	2.20	750.0	523.8	.693	8.0	3.8
7	5			1.85	7.40	937.6	602.8	.643	6.1	3.9
8	1	3	7	3.40	13.5	187.6	66.6	.355	0.7	0.6
9	1			12.2	49.0	187.6	100.0	.534	1.3	1.1
計	33	—	33	—	—	6,187.6	4,472.4	.723	54.3	45.8

・ 待合も理論による平均仕掛件数は  $M/M/C_{(00)}$  で先着先順のサーゴスを行うのとし、次式で算出した。  
 $L = P^c o(P^c) / (1-P) D_{c-1}(PC) + PC$   
 ただし  $C$  は 機械台数  
 $e_n(x) = x^n e^{-x} / n!$   
 $D_m(x) = \sum_{n=0}^m \binom{m}{n} e_n(x)$   
 ・ シミュレーションにおけるデイスバッチングルールは先着先順とした。

第1a表 フロム・ツーマトリックス

to \ from	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0 完了
1 (発令)	.096	.866	—	.002	.033	.003	—	—	—	—
1	—	.596	—	—	.404	—	—	—	—	—
2	.005	—	.001	.002	.595	.357	.001	.004	—	.035
3	—	.023	—	—	—	.008	—	—	—	.969
4	—	.760	—	—	—	.240	—	—	—	—
5	—	.034	.002	—	—	.472	.138	.016	.018	.320
6	—	.028	.076	.001	.054	—	.269	.002	—	.570
7	—	.014	.014	—	.014	.605	—	.012	—	.341
8	—	.173	.031	—	.028	.505	.235	—	—	.028
9	—	—	—	—	—	.883	—	—	—	.117

一番多いケースは、アーラング到着、超指数サービスの場合である。しかし、このような場合について理論的に仕掛件数の分布を求めることは面倒であるので、便法として

① ランダム・アライバル、ランダム・サービスを、強引に仮定して、待ち行列理論を用いる。

② 実測を行う。

③ シミュレーションを行う。

などが、考えられる。このうち、②および③を主に、併せて①も、併用しつつ、仕掛件数の分布を求めるのが妥当と思われる。①の方法と、③の方法とが、必ずしも、一致しない例をつぎに示す。

### (例2)

機械グループ数9、機械台数33台、作業班数3、作業人数33人、稼働時間7.5時間/日の工場に、発令ジョブ・オーダー件数10件/日（1件当り平均工程数4工程）の負荷が、かかった場合の、各機械グループの平均仕掛件数を、シミュレーションによって、調べたところ第1表のとおりであった。ただし、工程経路は第1a表のとおり、定まっているものとした。また、このシミュ

第2表 機械グループによって、稼働時間が異なる場合の例

機械グループ 番号	稼働時間（括弧内は休憩時間）			
	時分 8.30—16.45 (0.75)	時分 17.00—20.30	時分 20.00—8.00 (1.5)	台
1	1	—	—	台
2	5	3	1	台
3	1	1	1	台
4	1	—	—	台
5	9	7	4	台
6	4	1	—	台
7	5	3	1	台
8	2	—	—	台
9	3	—	—	台

レーションは、IBM 704のために作られたプログラムを利用したもので、704—7090 compatibility IIを用いて、IBM 7090で実施した。

なお、つぎのように、機械グループによって稼働時間が異なる場合、待ち行列理論の適用が困難となる。

## 4. むすび

工場建屋の床面積問題を、第1図のよう

に考えた場合、仕掛品スペースの大きさについては、技術的な立場、あるいは、過去の実績経験だけからでは、割切れない部分があり、これを、稍詳細に眺めると第2図のように見ることが出来る。この図において、機械グループ別仕掛品スペースを考える場合、水野幸夫氏の在庫管理方式を適用することが出来る。すなわち、1件当りの品物の大きさを1日当り需要量の分布、仕掛件数の分布をリード・タイムの分布に対応させれば、仕掛品スペースは、リード・タイム中の需要量の分布に相当するので、水野氏の発注点を定める式を用いて、仕掛スペースを、算定することが出来る。

ただし、この方法を利用するには、1件当りの品物の大きさの分布と、仕掛件数の分布とが既知で、互に独立でなければならぬが、とくに仕掛件数の分布を求めることは、仕掛品

管理に、直結する問題でもあって、非常にむづかしく、理論計算ミシユレーション、および、実測を併用して、これを求めなければならない。

なお実際に、この方法を使用する場合、一々前述の算式を計算することは、相当面倒なので、あらかじめ、種々のケースについて、計算を試み、実用に際しては、(平均仕掛スペース)×(係数)の形で使用すると便利である。

## ニ ュ ー ス

### \* IFORS 1962 年の活動 \*

IFORS 1962 年の年次報告が届けられたので概要をお知らせする。(詳細をお知りになりたい方は学会にお問合せ下さい) **Membership** 現在 IFORS 加盟学会は 14 でその会員数は次の通り。(加盟順)

国	学会名(略称)	会員数 (全数)	(1961 年) (qualified)	投票力
アメリカ	ORSA	3205	1021	32.0
イギリス	ORS	697	299	17.3
フランス	SOFRO	782	174	13.2
オーストラリア	AJCOR	96	45	6.7
ベルギー	SOGESCI	148	23	4.8
カナダ	CORS	329	116	10.8
オランダ	SOR	205	45	6.7
インド	ORSI	51	47	6.8
ノルウェー	NORS	57	49	7.0
スウェーデン	SOAF	97	62	7.9
日本	ORSOJ	850	135	11.6
アルゼンチン	SAIO	107	72	8.5
ドイツ	DGU	219	90	9.5
イタリー	AIRO	76	32	5.7
計		6919	2210	148.5

なお、現在 2 つの学会 [スイス OR 学会 (SVOR) とデンマーク OR 学会 (DORS)] から加盟申請が出て賛否を加盟各国に問合せ中であり、新に組織された他の 2 学会 [スペイン OR 学会 (SEIO) とソ連自動制御全国委員会] から問合せが来ている。オスロの大会には、これら 4 学会の代表が招待される。

**分会と友誼学会** TIMS からの友誼学会になりたいという申出は 1962 年に IFORS により承認された。TIMS は第 6 回国際会議を 1962 年 9 月 8 ~ 11 日にミンガン大学で開き、第 10 回会議を 1963 年 8 月 21 ~ 24 日に東京で開く。

Air Group (AGIFORS) は 1962 年秋ローマで、オスロ大会の直後スカンデナヴィアのどこかで会議を開く。