

精密機械加工・組立工場におけるファクトリーオートメーション—冷蔵庫用ロータリコンプレッサ—

Factory Automation System for Precision Machining and Assembly Process —Rotary Compressor for Refrigerator—

従来、部品精度及び組立精度の良否で、製品性能が決定されるロータリ圧縮機の生産で、特にサブミクロンの精度管理を必要とする部品仕上加工や精密組立作業は、人手に頼る例が多かった。そこで、日立製作所栃木工場では、低消費電力及び省スペース性を目的とした、電気冷蔵庫用ロータリコンプレッサの生産を開始するに当たり、既に生産されているルームエアコンデション用ロータリ圧縮機生産ラインの抱える問題点の顕在化と対策手段を立案し、超精密加工の開発導入を図るとともに、新たに生産制御システムの開発を行ない、冷蔵庫用ロータリ圧縮機FAラインを構築した。

藤原久利* Hisatoshi Fujiwara
 阿部信雄* Nobuo Abe
 阿部道雄* Michio Abe
 小林 隆** Takashi Kobayashi
 高巢周平*** Shūhei Takasu

1 緒 言

家庭用電気冷蔵庫(以下、冷蔵庫と略記)は、省電力化競争が激しく、更に省スペース大容積化の競争が激しさを増している。

これらのニーズにこたえるためには、外形寸法の大きいレシプロ圧縮機から、容積効率が高く、大幅に体積縮小が可能となるロータリ圧縮機への転換が好適である。

日立製作所栃木工場(以下、栃木工場と略記)では昭和57年に、図1に示す冷蔵庫への取付性の優れた横置形ロータリ圧縮機を開発し、同年9月から設備開発プロジェクトを発足し、部品及び組立精度の高精度化と、コスト競争力のある圧縮機

を供給する目的で、生産ラインのFA(ファクトリーオートメーション)化の検討に着手し、昭和59年から稼動を開始した。

2 部品精度及び組立精度と圧縮機性能

図2にロータリ圧縮機構造の概念図を示す。ロータリ圧縮機の性能は、同図矢印に示す各クリアランスからのガス漏れを低減することで比例的に向上する。すなわち、①ローラ上下、②ベーン上下、③シリンダとローラ間のそれぞれのクリアランスの縮小により、油膜によるシール性が向上し、高压側から低压側へのガス漏れが防止できる。

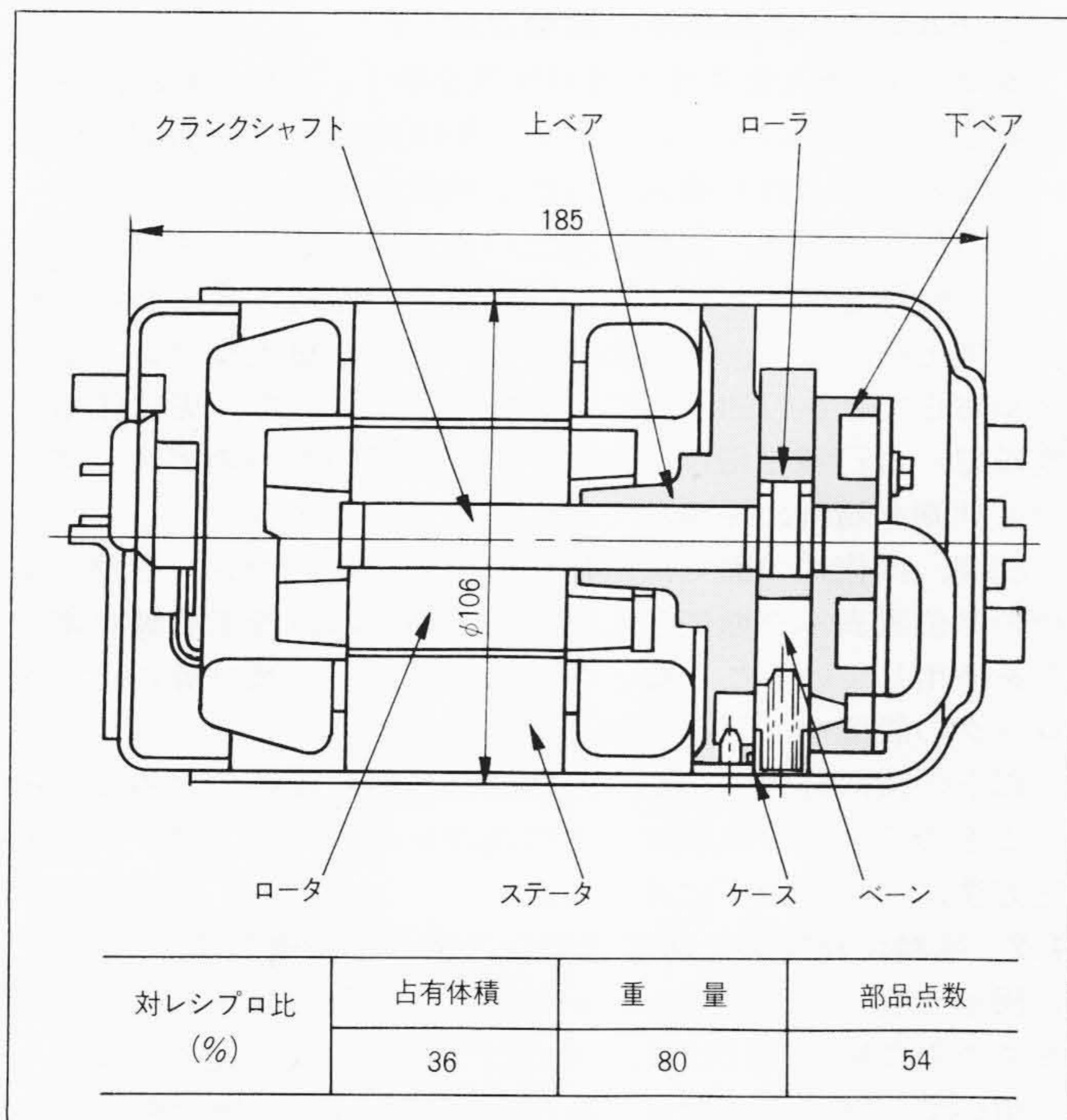


図1 冷蔵庫用横置形ロータリ式圧縮機 ロータリ圧縮機の構成と従来レシプロ圧縮機(図示省略)との仕様比較を示す。

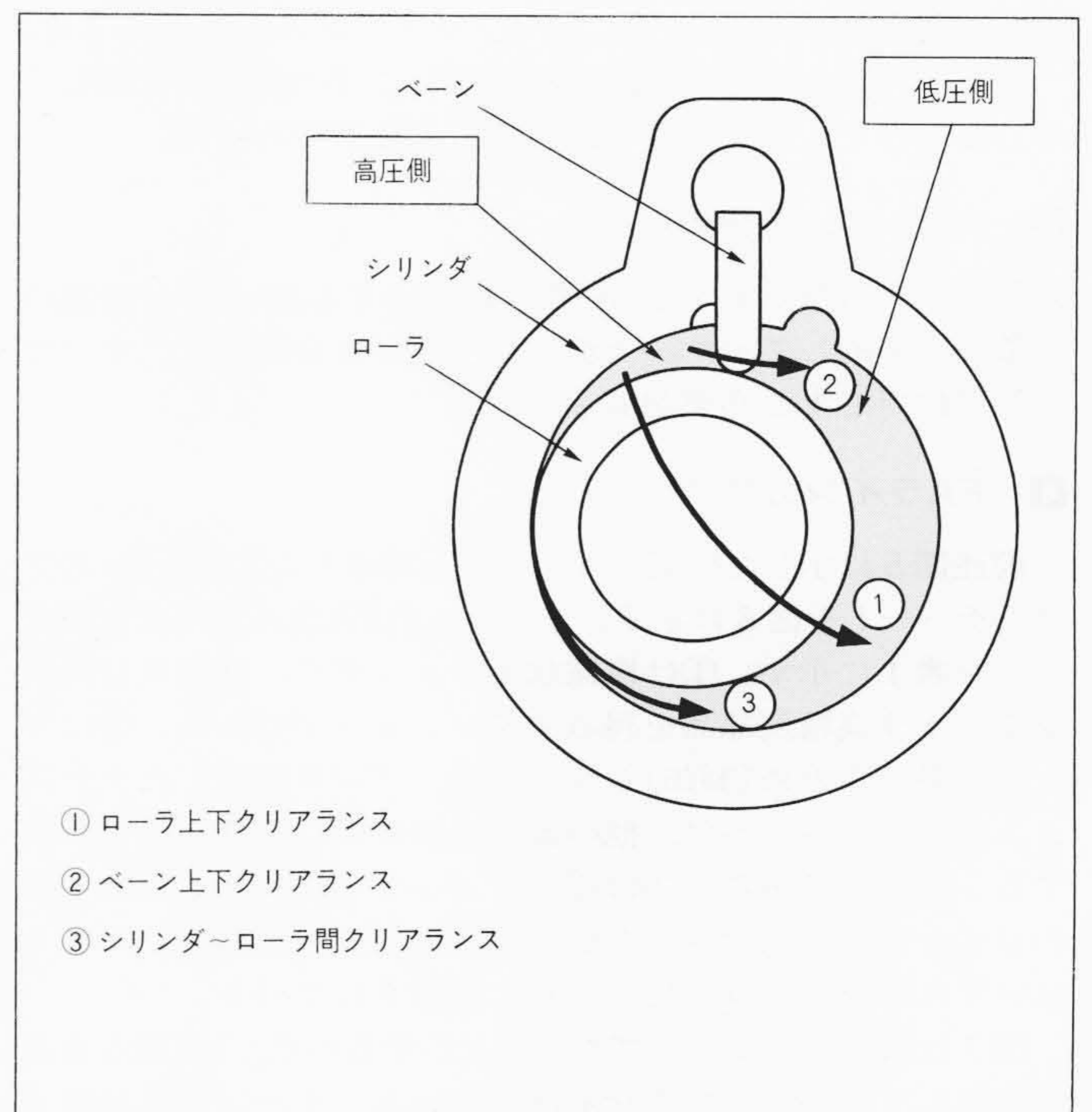


図2 ロータリ圧縮機概念図 ロータリ圧縮機の圧縮機構部の詳細とその部分に生ずるガス挙動を示す。

* 日立製作所栃木工場 ** 日立製作所システム開発研究所 *** 日立製作所生産技術研究所

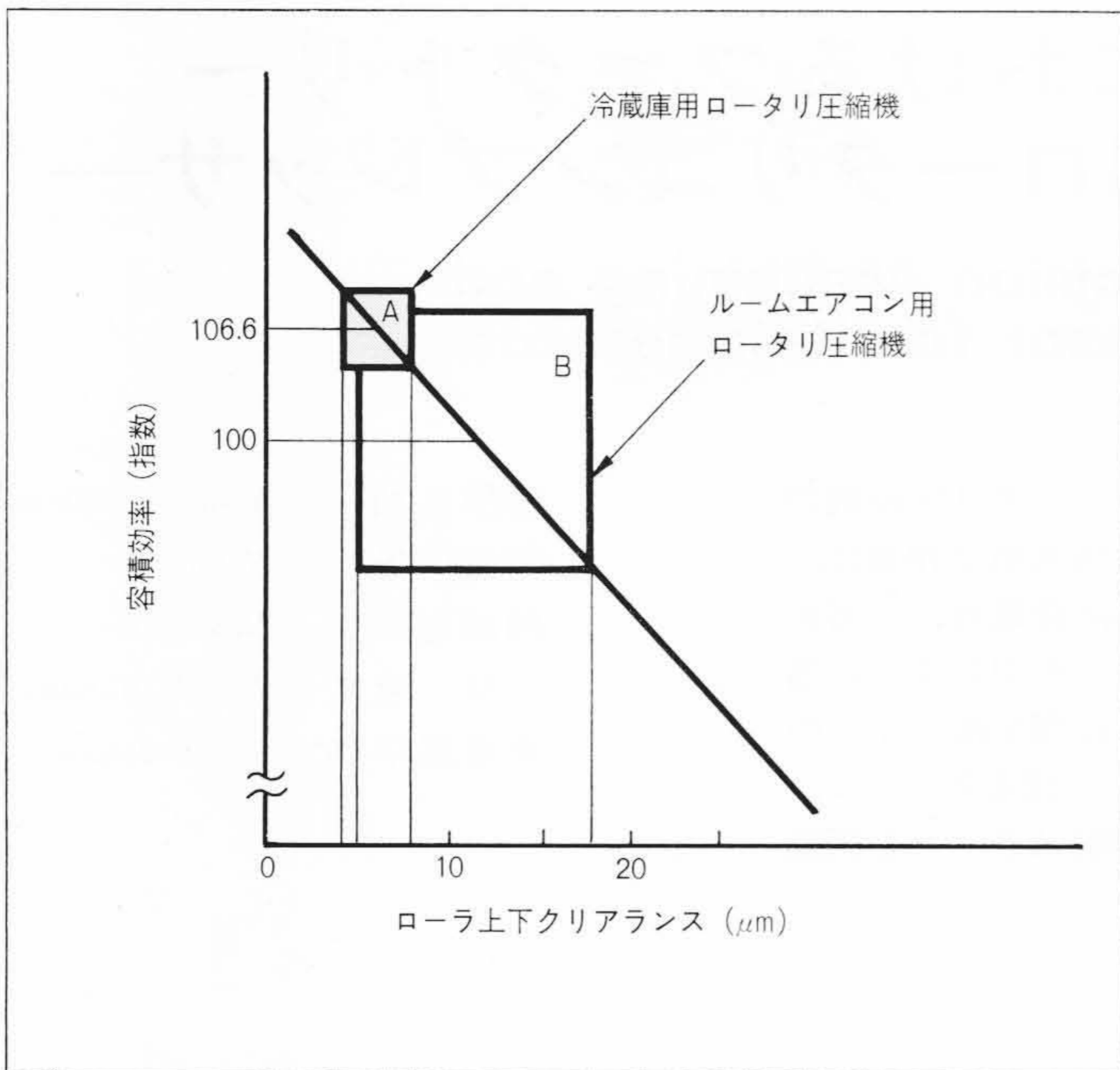


図3 ローラ上下クリアランスと性能 ロータリ圧縮機の性能に最も大きな影響を与える、ローラ上下方向クリアランスと圧縮機性能の関係を示したもので、FAラインの高精密化組合せと従来からある既存精度のそれぞれの圧縮機で比較を示す。

これらのクリアランスは、平面度、直角度などの部品形状精度及び寸法公差の縮小、相互部品の選択はめあい、精密な組立調整作業を施すことで縮小することができる。図3はローラ上下クリアランスと圧縮機性能の相関を示したもので、Aは冷蔵庫用ロータリ圧縮機、Bは従来から生産しているルームエアコンディショナ(以下、ルームエアコンと略記)用ロータリ圧縮機の精度を反映した性能の範囲であり、押除量の小さい冷蔵庫用圧縮機は、特に狭いクリアランスを必要とする。

図4は、図3のAの性能を得る精度を、Bの精度と比較して示したもので、最高5倍の精度向上が必要であった。

3 FAライン構築の条件

図5に、前章で述べた高精度を前提とするFAライン構築の諸条件を要約して示す。大別して9項目に分類され、すべての細目に対応する必要があった。

4 FAラインの構成

前述図5に示した構築条件を加味し構成したFAラインのフローチャートを図6に示す。また、このFAラインの主な構成内容を表1に示す。①は機械加工ショップで、切削及び研削加工により高精度部品を得るメインショップである。②はプレス部品のまとめ(製缶)ショップで、プレス成形したケースとふた(蓋)チャンバに、他の部品を溶接及びろう付けで接合するショップである。③は組立ショップで、①、②それぞれのショップから供給された部品の精密組立を行なう。これらはいずれもワンフロアに一貫して配置されている。

図7は機械加工ショップの一例を示すもので、NC機などを主体として徹底して無人化を図っている。また、図8は組立ショップの中のポンプ組立ラインで、クリーンルームに配置され、全部品自動測定選別された後、ロボットにより自動組立されている。

以上のFAラインの自動化率は80%強、使用したロボットは26台で、自社工場製ロボット23台が含まれている。

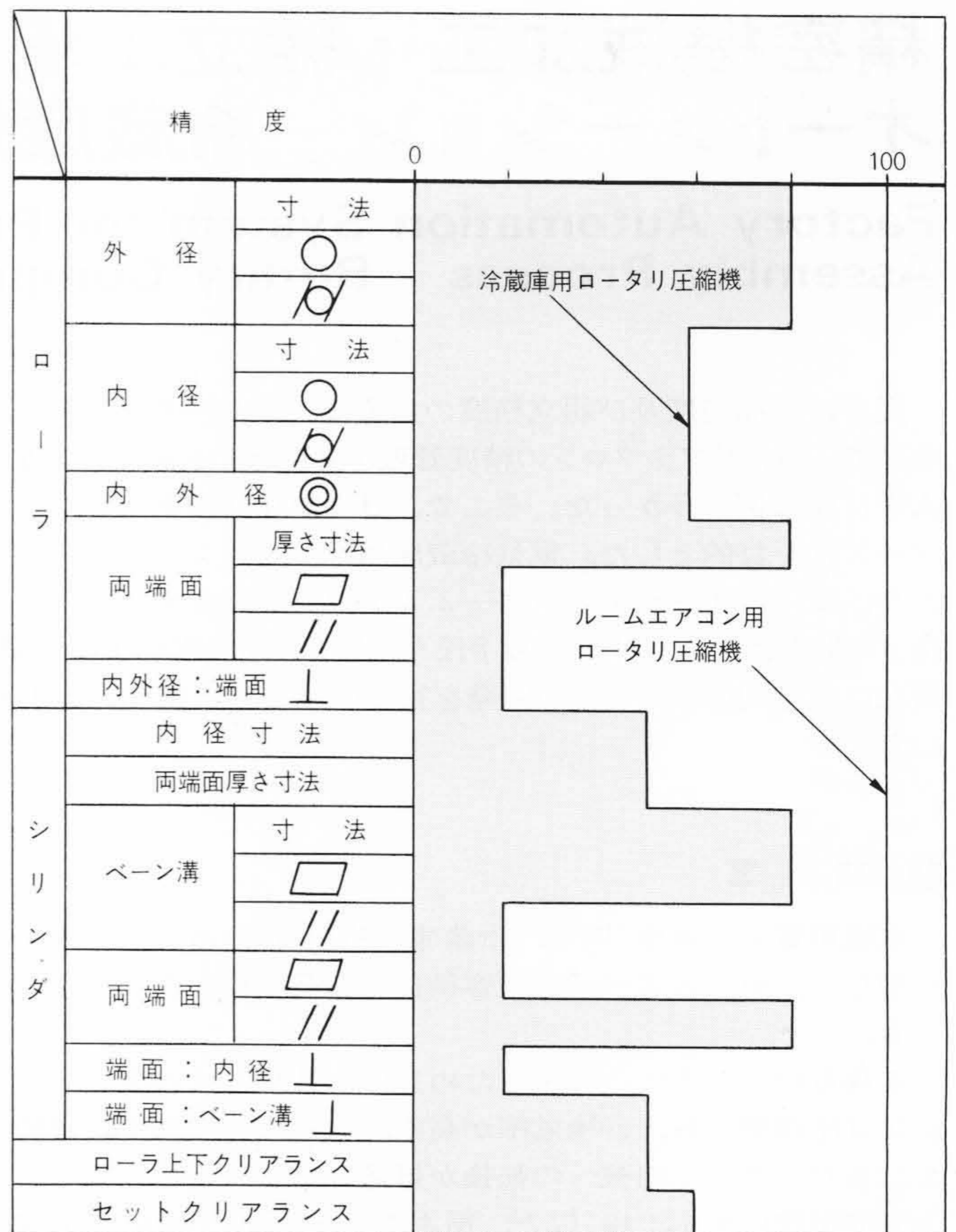


図4 部品精度の比較例 ロータリ圧縮機の性能を阻害する、ガス漏れ発生部のクリアランス精度に影響を与えるローラ、シリンダそれぞれの新(冷蔵庫用)、旧(ルームエアコン用)部品精度を比較し示す。

4.1 FAライン構築条件の適用状況

表2に主なFA化条件の適用状況を示す。すなわち、設備の選定では、従来のルームエアコン用圧縮機の設備構成にはない各種の超仕上機を導入し、加工精度の安定化を図った。

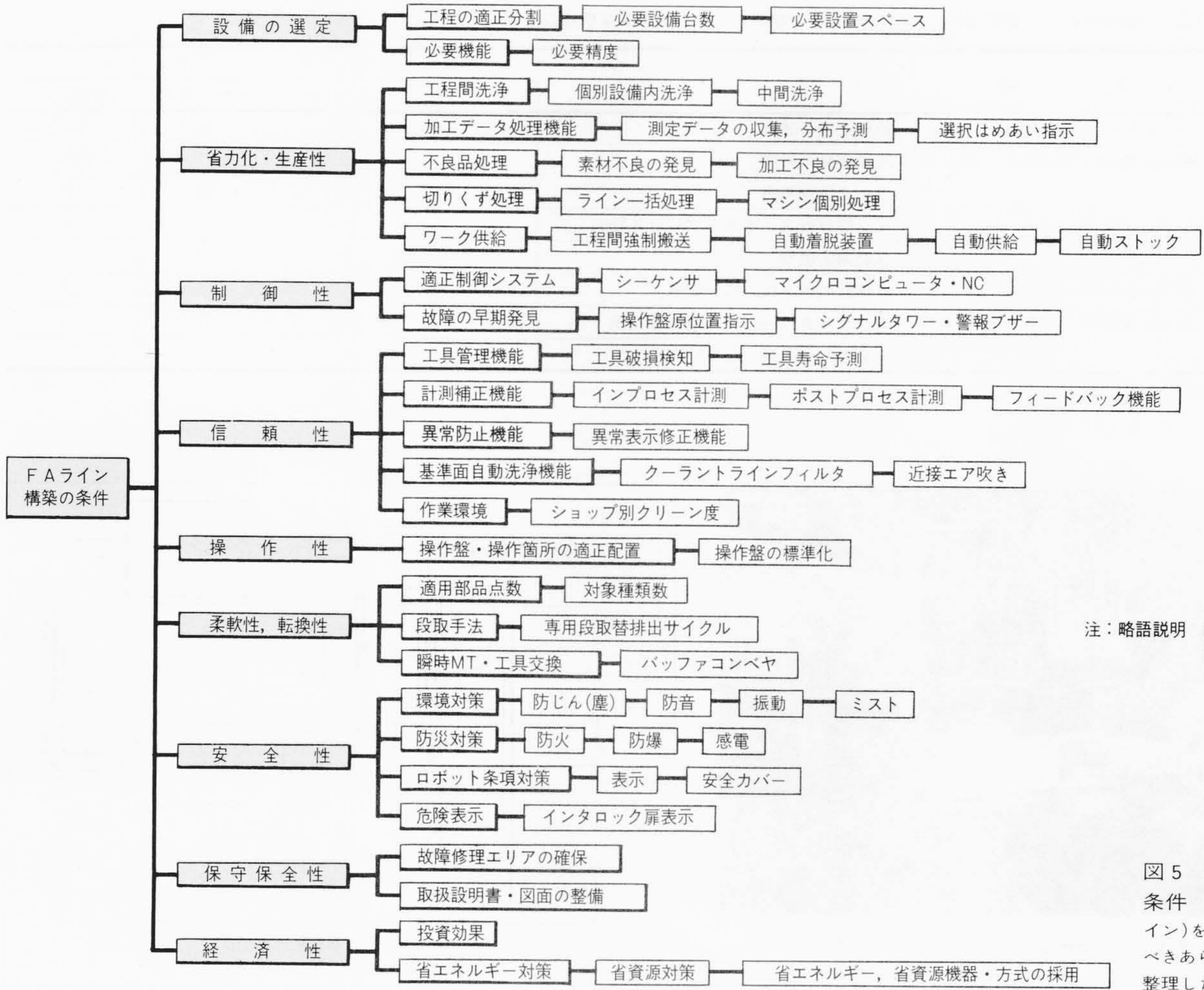
省力化、生産性、信頼性向上の点では、洗浄方法の全般について検討を加えるとともに、ワークの搬送方式について検討を加えた。また、異常部品の混入による重大なマシントラブル防止などを目的としてインプロセス計測を、更に仕上精度確認、自己補正指示、加工データ処理のためのポストプロセス計測を随所に採用している。

制御、操作性の面では、操作盤の標準化、マシントラブル時の原位置表示を徹底し、安全性の面では自社工場製ロボットを多用していることなどから、安全カバー及び扉のインタロックの設置など万全を期している。

以上の検討経過の中から、特に部品精度維持のために見逃すことのできない機械加工工程洗浄システムと、ワークの搬送方法について以下に述べる。

4.2 高精度維持のための洗浄システムと搬送方法

栃木工場で今回開発したシステムは、荒引きから仕上加工までの全設備に、それぞれの加工プロセスに適したクーラントを用いて、各設備のワーク取付基準面とワーク間に侵入する切粉及びと(砥)粒の排出を容易にするとともに、図9に示すように通常の循環経路と別にフィルタで濾過したクーラントで基準面を洗浄する方式を採用した。また同じく同図に示すように、ワークが基準面に着座する直前に、基準面側からエア吹きし、急激なエアの流動で異物を除去する方式を採用した。



注: 略語説明 NC(数値制御) MT(Machine Trouble)

図5 FAライン構築の条件 FAライン(無人ライン)を導入する際、考慮すべきあらゆる条件を系統的に整理した。

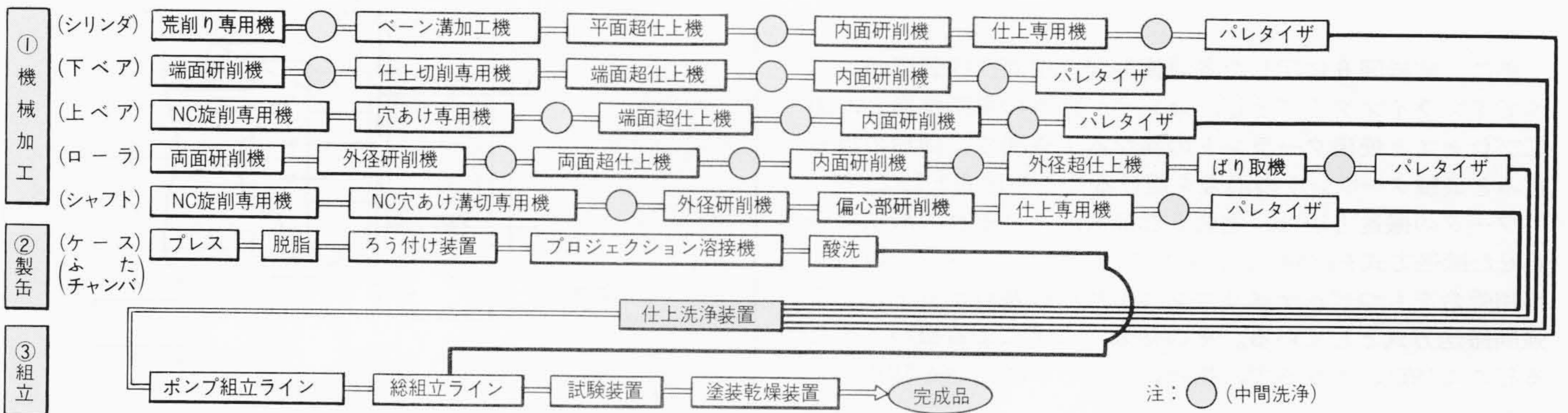


図6 冷蔵庫用ロータリ圧縮機FAラインフローチャート 冷蔵庫用ロータリ圧縮機のFAラインの構成を要素加工別に表示している。

表1 FAラインの主な構成内容 冷蔵庫用ロータリ圧縮機FAライン設備、工程数、使用ロボット台数などの詳細内容を示す。

ショップ	総設備台数	総工程数	自動化工程数	使用ロボット
機械	64	68	58	5
製缶	9	15	9	2
組立	ポンプ組み	46	35	18
	総組み	15	39	1
検査	5	—	—	—
合計	139	164	135	26

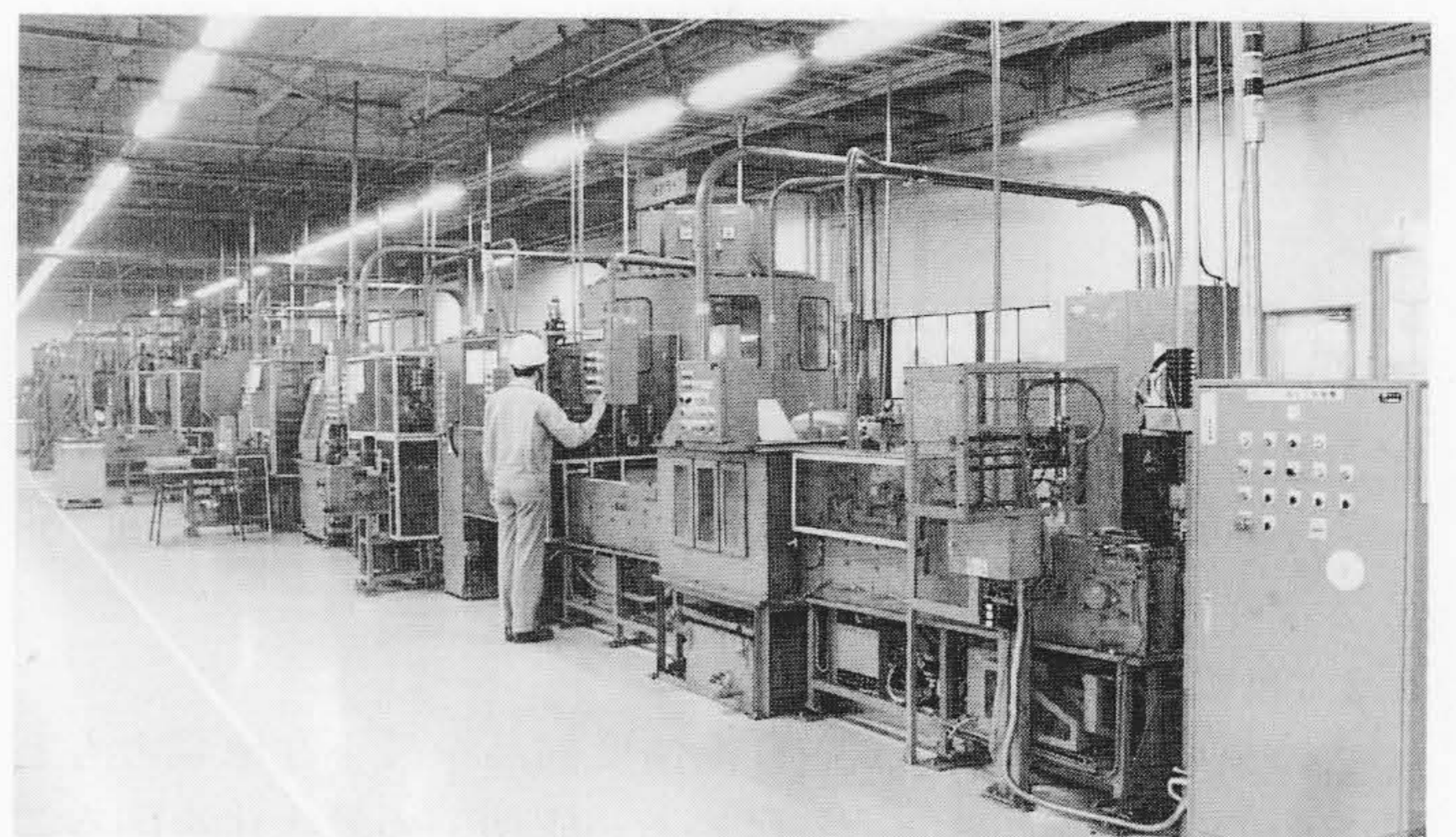


図7 機械加工ショップの一例 内・外径両端面精密加工を必要とするローラの機械加工ラインを示す。

表2 FA化条件の主な適用状況 前述図5に示したFAライン構築の条件の中の主な項目の具現化した状況を示した。

項目	目的	方法	適用			
			機械	製缶	ポンプ組み	総組み
設備の選定		超仕上機の導入	○	—	—	—
省力化, 生産性	高精度精度の安定維持	洗浄作業の徹底	○	○	○	○
		ワーク強制搬送	○	—	○	○
信頼性	MT防止, 精度安定, データ収集	インプロセス・ポストプロセス計測	○	—	—	—
		自動測定選別	—	—	○	—
制御性, 操作性	操作手順の統一化 異常時早期バックアップ	操作盤の標準化, 統一配置	○	○	○	○
		シグナルタワー統一, 原位置指示	○	○	○	○
安全性	—	安全カバーの徹底, 危険表示	○	○	○	○

注：略語説明 MT(Machine Trouble)

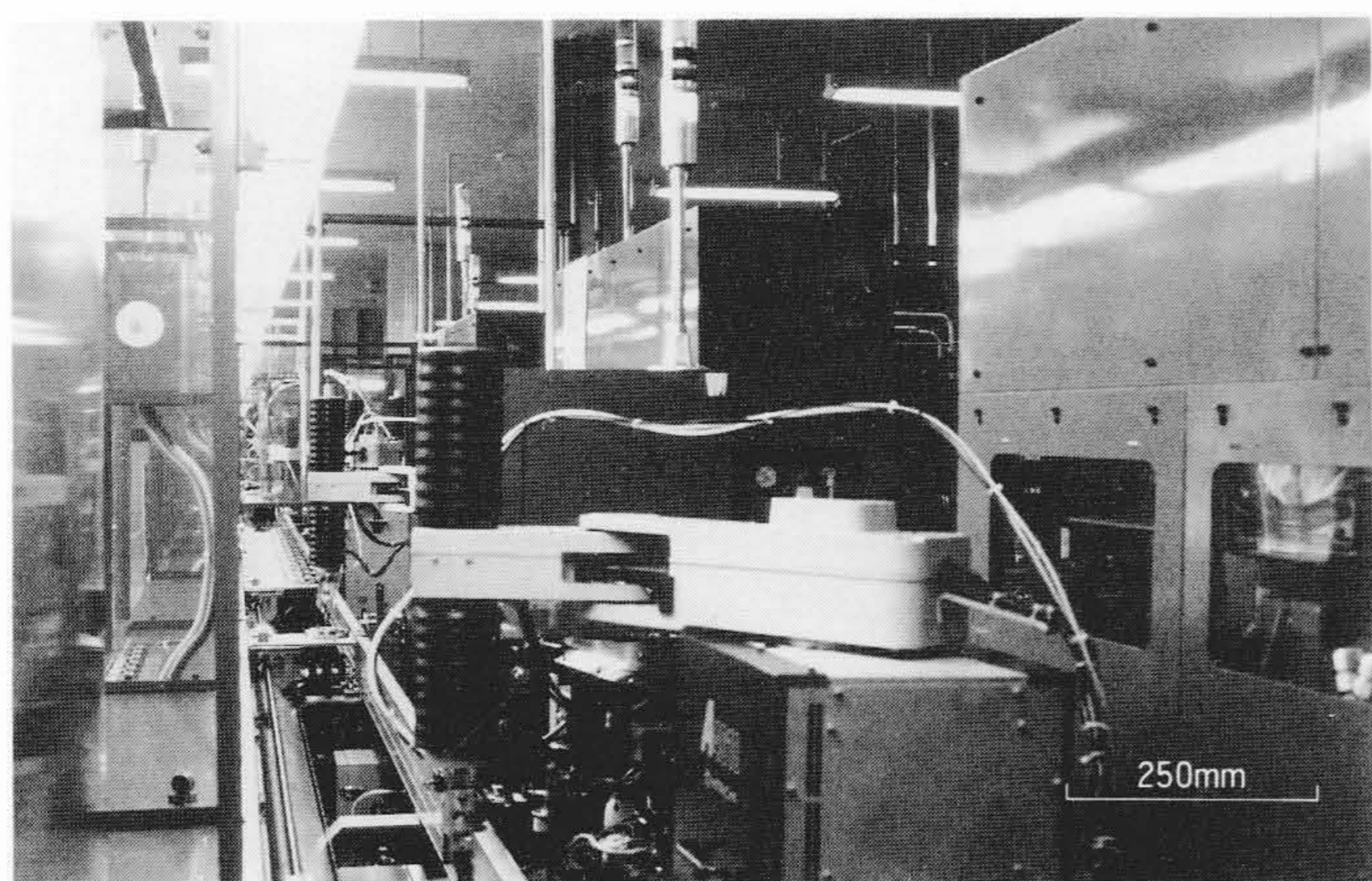


図8 ポンプ組立ライン ロボットによる精密部品の自動組立ラインを示す。

更に、前掲図6に示した各設備期間の中間洗浄装置は、すべてインラインタイプとし、コンベヤ自体の常時洗浄と、加工プロセスと使用クーラントの異なる工程間で、切粉の持ち込みと異種クーラントの混合を避けることを目的としている。

ワークの搬送方法は、主要5部品共、それぞれの形状に合わせた搬送方式を採用し、緩衝材を介したトランスファ方式、専用受台をもつピッチ送りコンベヤ及び移載ロボットによる強制搬送方式としている。その結果、人手による扱いで生じる打こん(痕)、すりきず、指紋によるさびの発生を防止している。

5 生産制御システム

前章までは、高精度な部品及び組立精度維持と生産性などに対処する上での、いわゆるハード面について概略を述べた。

本章では、生産の全般にわたるソフト、すなわち生産管理システムについて述べる。

5.1 FAライン制御方式の全体構成

本FAライン制御方式の概要は、図10に示すように、機械加工、検査・洗浄、保管・ポンプ組み、検査・部品供給バッファ・はめあい組立工程から構成され、制御用計算機HIDIC-08 E 2台で制御している。

5.2 自動はめあい制御方式

このシステムの目的は、(1)高精度部品を最小在庫量のもとで自動的に選択制御し、(2)はめあい成功率の最大化を図ることである。この目的の実現を図るため、次の二つから成る解決方式を開発した。

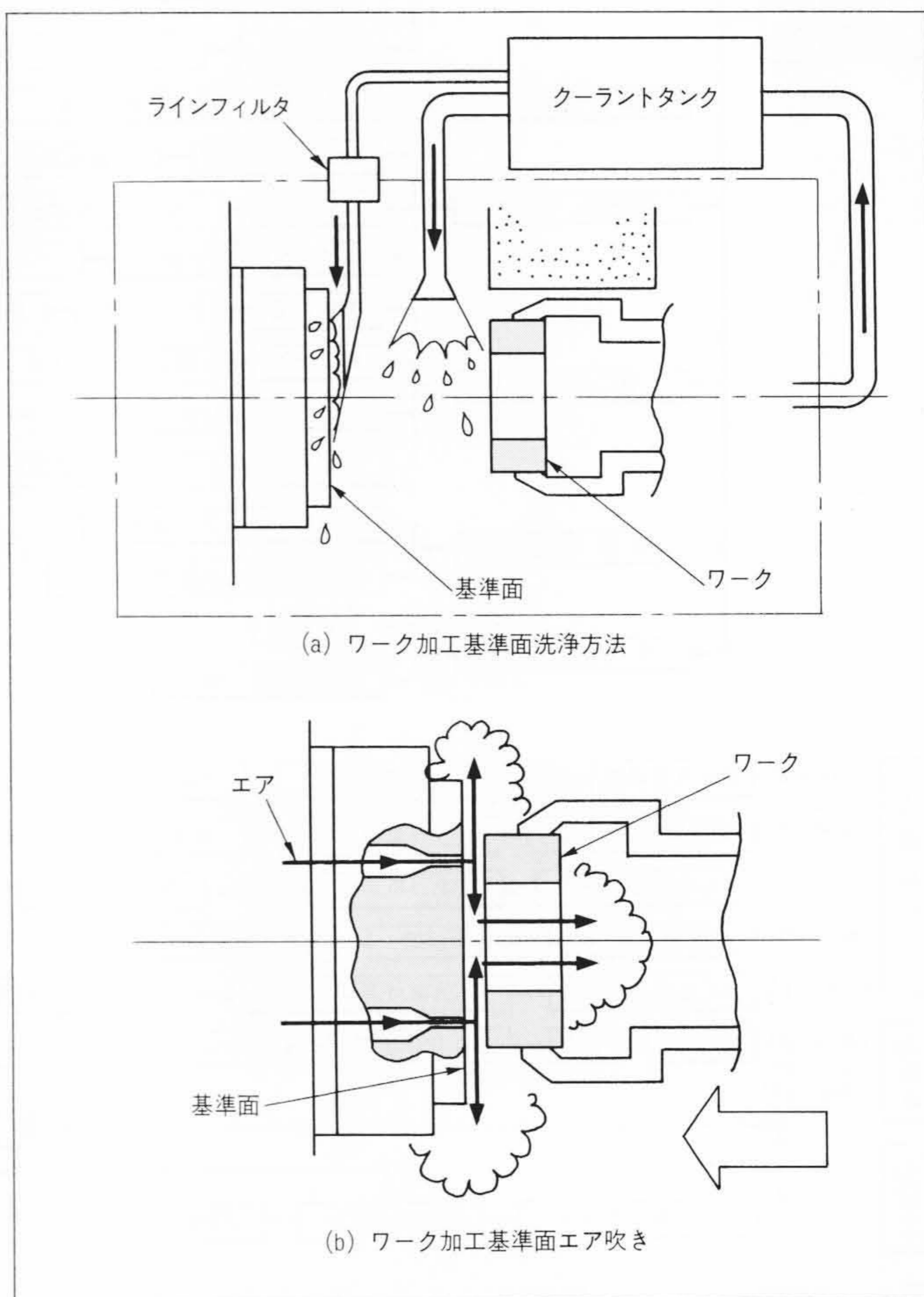


図9 加工基準面洗浄方法 工作機の基準面とワーク間に切粉などの異物の介在を防止するための洗浄方法を図示した。

(1) パレット制御方式

高精度機械加工部品、例えばシリンダ、ローラを一定数のパレットに収納し、保管する。このパレット内の部品の寸法はそれぞれ変動しているため、機械加工工程での寸法測定結果により、各パレット内の寸法区分別部品量を推定し、保管工程内のはめあい成功品量の推定値が最大となるパレット対を決定する。図11は、このシリンダ、ローラのパレット対を決定する制御方式の概略を示すフローチャートである。

(a) 目的関数：洗浄、保管工程のシリンダ、ローラに対してはめあい成功率を最大化する。

(b) 決定変数：洗浄、保管工程のシリンダとローラパレット対

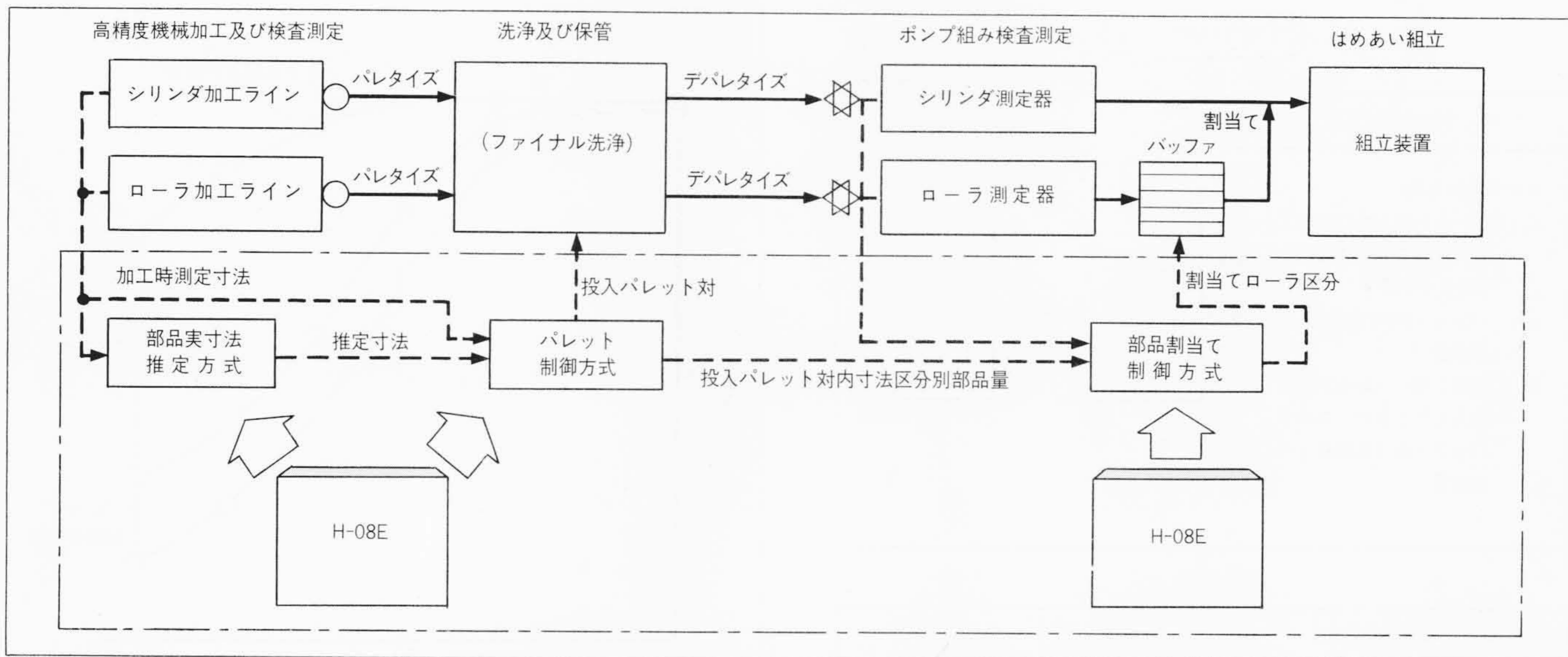


図10 自動はめあいライン制御方式の全体構成 冷蔵庫用ロータリ圧縮機FAラインの生産制御システムの全体構成を示す。

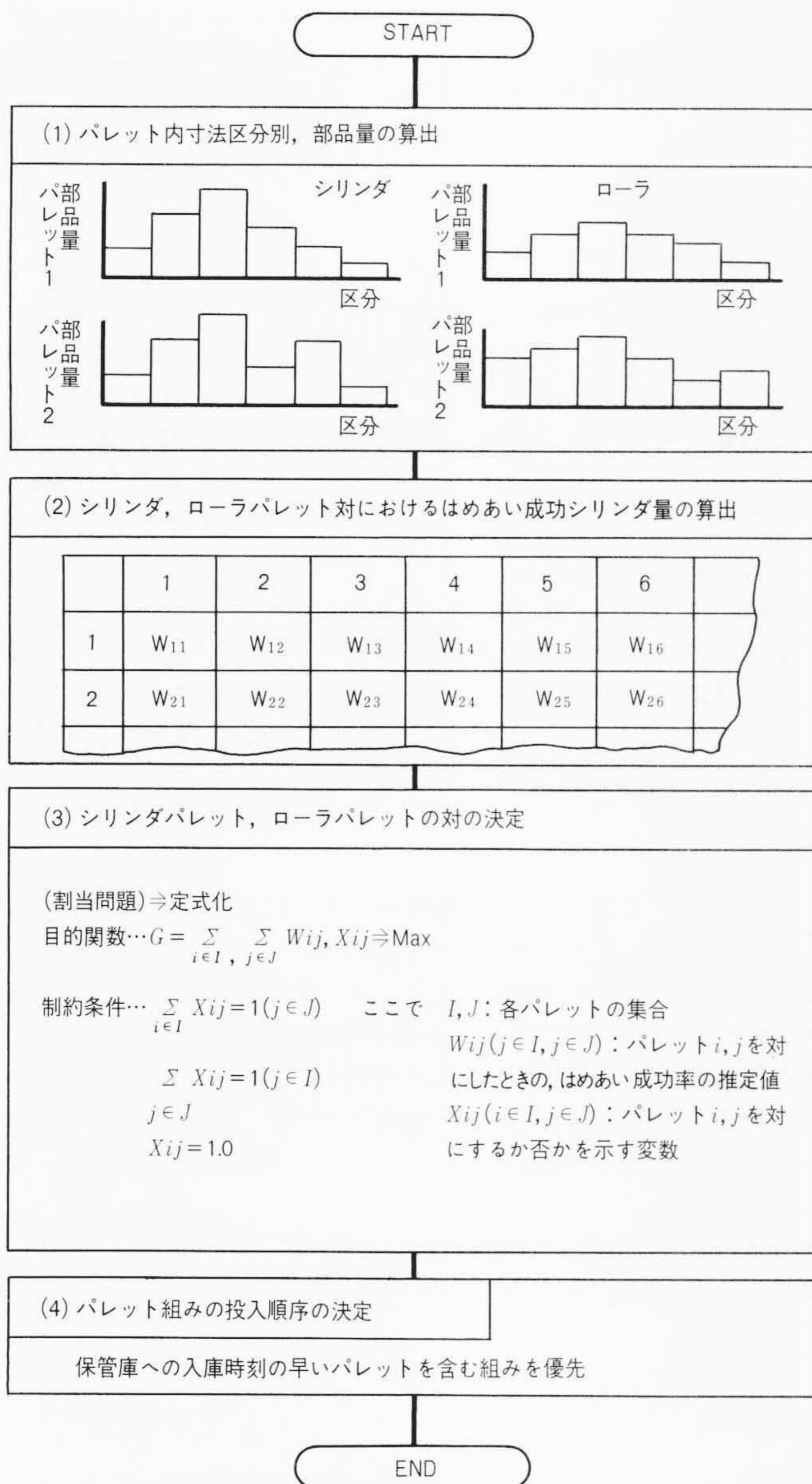


図11 パレット制御方式の概略フロー 主要部品収納パレットに存在する組合せ部品の分布を数量的につかみ、かつ組合せを決定する制御方法の概略を示す。

(c) 制約条件：(i) 洗浄，保管工程の各シリンダパレット内の寸法区分別シリンダ量。各ローラパレット内の寸法区分別ローラ量は既知。(ii) シリンダ，ローラはめあい条件

(2) 部品割当て制御方式

洗浄後一定時間保管された各パレットが，検査工程に投入され，パレットから各部品を取り出し，その寸法を測定する。測定されたローラは，寸法区分ごとにバッファに収納される。一方，シリンダはバッファを設けず，測定のとどバッファ内のローラを割り当て，はめあいを実施する。図12にシリンダとローラはめあい条件の一例を示す。本方式では，バッファ内のはめあいするローラが不足したり，ある寸法区分のローラがオーバーフローすることを防ぐために，投入されたパレット対の寸法区分別部品量をもとに，バッファ内の部品供給量と需要量を推定し，需要量に比べて(供給量+バッファ内在庫量)の多い寸法区分から優先してローラを割り当てる。更にオーバーフロー防止のため(バッファ容量-在庫量)が，ある一定量以上になるように部品を割り当てる。

	$R_1 \leq r < R_2$	$R_2 \leq r < R_3$	$R_3 \leq r < R_4$	$R_4 \leq r < R_5$	$R_5 \leq r < R_6$	$R_6 \leq r < R_7$
$C_1 \leq C < C_2$	○	○				
$C_2 \leq C < C_3$		○	○			
$C_3 \leq C < C_4$			○	○		
$C_4 \leq C < C_5$				○	○	
$C_5 \leq C < C_6$					○	○
$C_6 \leq C < C_7$						○

注：r(ローラ寸法)，C(シリンダ寸法)， $R_1, R_2 \dots$ (ローラ寸法値)， $C_1, C_2 \dots$ (シリンダ寸法値)

図12 シリンダ，ローラはめあい条件 冷蔵庫用ロータリ式圧縮機で採用したマッチング率の高いはめあい方法の一例を示す。

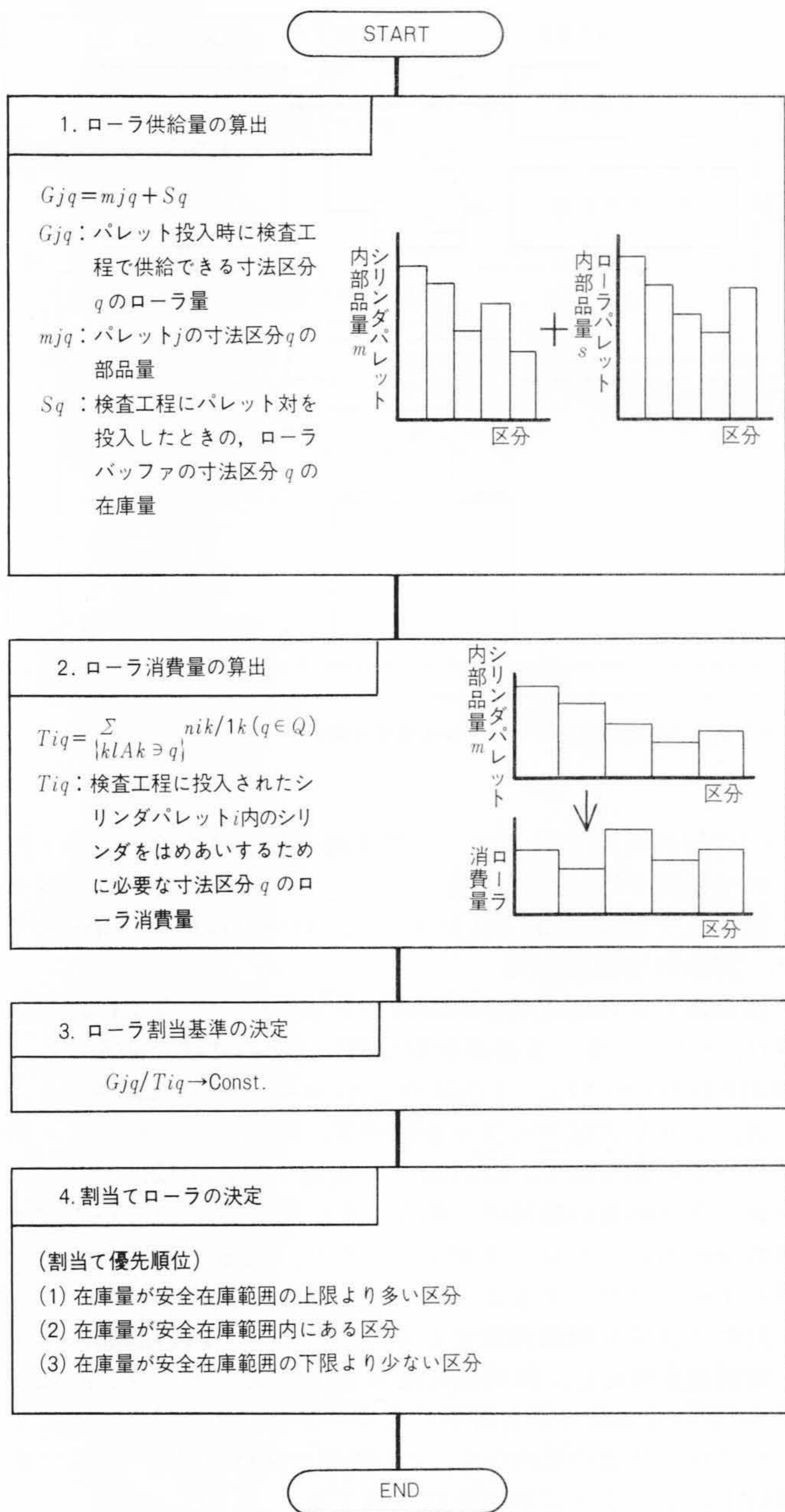


図13 部品割当制御方式の概略フロー 選択はめあい該当部品の全体的な供給の適正化を図るための、制御方式の一例を示す。

以上、部品割当制御方式の概略フローを図13に示す。

(3) 成果

以上述べた自動はめあい制御方式と、到着順にパレットを投入し、各寸法区分のローラを、等確率でシリンダに割り当てる方式(FIFO方式)を、シリンダ、ローラの平均寸法値の差とはめあい成功率の関係で図14に示す。

6 FAラインの評価

以上述べたFAラインは、昭和59年から順調に操業している。ここで、FA化の目的として当初設定した各項目についてそれぞれの評価は、以下に述べるとおりである。

(1) 生産性の向上、省力化

工程単位の制御の合理化、無人搬送などに加えて、生産制御システムの開発導入などにより、従来から栃木工場で生産しているルームエアコン用ロータリ圧縮機に比較し、大幅な生産性の向上を見ることができ、また省力化を図ることができ

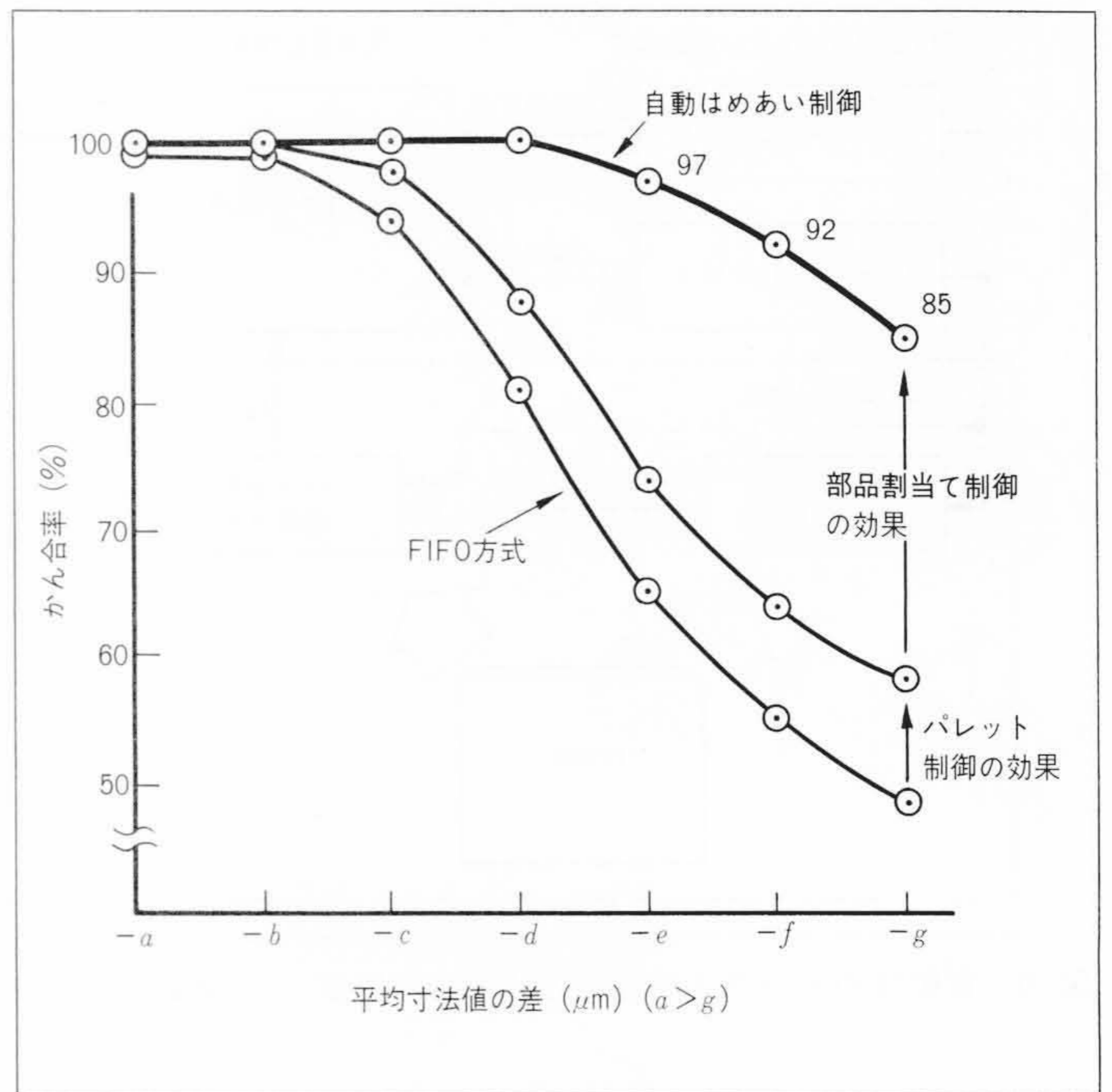


図14 数値実験結果 自動はめあいの部品割当制御によるはめあい成功率のシミュレーション結果を示す。

きた。

(2) 信頼性の向上

部品の機械加工精度の安定維持については、洗浄の徹底、ワークの強制搬送、計測補正制御機能、工具管理機能の採用などにより、従来から生産しているルームエアコン用ロータリ圧縮機生産ラインに比較し、全体不良率で大幅な低減を見ることができた。また、組立工程でも、全主要部品を全数、測定選別した後、自動組立しているなどの効果から、常に安定した圧縮機性能を得ている。

(3) 操作性、制御性及び柔軟性の向上

操作盤の標準化、適正配置と異常時のシグナルタワー、操作盤原位置指示機能付加などにより、操作性及びバックアップの迅速化が図れた。また、NC機能の大幅な採用を図り、段取時間の短縮も可能となった。

7 結 言

以上、栃木工場での冷蔵庫用ロータリ圧縮機のFAラインについて述べた。最近、FAの充実期を迎えつつあるが、生産制御システムの有効な活用を図る上で、栃木工場の圧縮機生産ラインのような各種プロセスを組み合わせた精密な分野では、無人化を阻害する要因、例えば研削加工基準面とワーク間への異物の介在の防止、また、微細なばり、かえりの除去に細心の注意と対策を実施するなど、ハード面の対処が必要である。

冷蔵庫用ロータリ圧縮機のFAラインは、以上のハード面の徹底した研究と、システムソフトが融和した一つの成功例と言える。

参考文献

1) 小林, 外: 高精度機械製品生産における嵌合制御方式の提案, 昭和60年電気学会全国大会論文集