

# 第5章

## — 総論 —

# 生活環境

人間は常により快適な生活を求めている。あらゆる機器や装置は直接的、間接的にこの欲求にむすびついているといっても過言ではあるまい。しかしここでは比較的間接的なものおよびたとえばエレベータのようにかなり直接的なものでも他の章に述べられているものを除いて、直接的なものについて述べることにした。

より快適な生活、より快適な生活環境をつくるというこの基準は問題とする時点の生活ならびにその環境である。したがってこれらを求める活動は時代とともに変わるのが当然であり、また同じ時期でも文化の程度や地域によって同じではあり得ない。この意味で日立製作所の生活環境改善に対する活動について述べる前に、この面から人間生活の歴史を概観してみることにする。

### 歴史をふりかえって

人間の生活の歴史をふりかえってみると、自然の利用から自然の条件の克服、さらには自然に人工の産物が加わった総合的な外部条件の克服に対する挑戦といつてよい。昔は雨露をしのぐため自然のほら穴を利用し、水を得るためには直接河川や泉にたよった。また食料には野生の植物や動物を、衣服にも植物そのものや動物の毛皮などを使った。これらに対する努力は、より裕福に生きようとする努力が皆無とはいえないが、生命を維持する——すなわちこれらを怠れば死滅につながる——要素を主体としていた。しかもそれらは自分ないし自分にごく近い少数の人のためにする努力であった。

そのうちに人間は植物を栽培したり、動物を飼育することを覚えた。自然の利用の拡大であり、ある意味では自然の制約の克服の端緒である。海や河をわたるのに舟を作ることを考え出した。狩猟に馬などの動物を利用するようになった。行動範囲の拡大であり、収穫対象の拡大である。井戸を掘った。自然そのままでは得られない場所で水を得たわけである。居住地域の制限の克服である。さらには労役に動物や水力、風力を利用するようになった。すなわち省力である。これらには現在における生活環境改善と一脈通じるものがあることはたしかであるが、まだ生存のためという意味が強かった。むしろ現在における生産合理化のほうに近いとみてよいと思われる。

人間の生活集団は次第に大きくなり、分業が進められた。分業によって、より少ない労力でより安易な生活ができることを見いだしたわけである。

このようにして、人間は次第に生命を維持するということに対する労働により多くの余裕を作り出すことになり、その余裕を直接生命を維持するためではないものに積極的に向けるようになった。趣味娯楽などの比率の増大である。かつては食料確保のためになされた狩猟も一部には娯楽になされるようになったし、自動

車もかなりの部分がレジャーに利用されているし、さらに飛行機まで及ぼうとしている。ラジオは当初はニュースの伝達が主目的であったが、次第に趣味、娯楽の道具になり、その後出現したテレビなど最初から娯楽的要素が強くなっている。商品そのものにもこの傾向があらわれている。単に料理ができる、音楽がきけるという先天的な機能重点から、装飾の一部といったような後天的要素をより多く含むようになって来ている。すなわち生活していくということが単に生命を維持していくことでなくなって来ているのである。このような進化は非常に長い時間かかってなされたものであるが、われわれは戦争末期から終戦後の混乱期にその縮図を身をもって体験し、印象深いものがある。

人間は多くのものを発明し、生存に対する労役を低減し、レジャーを拡大して来た。しかし栄養の高い食物でも腸の中で異常な発酵をして中毒を起こすことがあるように、これらの生活の向上をもくろんだ多くの手段の中にも悪い副作用を起こすものが現われている。無謀な山林伐採や宅地造成が土砂くずれを誘発したり、工場からの煤煙、有害ガス、有害排水が健康に脅威を与え、飛行機や自動車の騒音が睡眠や勉強をさまたげ、神経をいらだたせるなど、文明の進んでいかなかった時代には考えられなかった環境が人為的に出現している。われわれは自然そのものの条件の克服だけでなく、それに加わる人為的な条件に対しても対策を講じなければならなくなって来ている。不用意に作ったものの及ぼす副作用を制圧するとともに、新しくつくる諸施設、諸機械が悪影響を及ぼさないよう配慮が必要なのである。

### 日立は何に貢献して来たか

日立製作所は重電機からスタートして発展して来たので、じかに家庭生活の向上に寄与した電気井戸ポンプなどを除いて歴史は比較的新しい。むしろ水道施設など公共の大きな設備を通して貢献して来た。しかし戦前は「月月火水木金金」や「欲しがりません勝つまでは」で代表されるような時代で、積極的な生活環境改善に対する努力の割合は低く、積極的な活動がクローズアップしたのは戦後の混乱期以後であることを考えれば、日立の貢献もきわめて大きいと言える。

#### (a) 光を求めて

昔の人間のおもな活動はだいたい昼間に限られていた。夜の暗黒が征服できなかったからである。物が燃焼するとき光を出すので、光を出す道具の歴史は古く、かがり火、たいまつ、あんどん、ガス灯と一連の進歩はとげたが、燃焼という宿命的な不便さがあって夜の征服とまで行かなかった。暗黒に対する挑戦の革命は何といつても電灯の発明であった。

電灯もエジソンの炭素フィラメント電球から現在ではタング

ステンフィラメントのガス入電球になり、また蛍光灯が出現、街路照明には水銀灯、ナトリウム灯など効率の高い放電灯が使われるようになっていく。昔の人が言った不夜城など現在の一般家庭にすら及ばない状態である。

日立製作所は発送配電機器を通して、古くから間接的に照明に寄与して来たが、直接的には昭和18年当時の理研真空株式会社を合併した時に始まっている。以来上にのべたような各種の管球や、それを用いる灯具の改善に努力している。照明は今後ますます高効率化されて行くだろうが、一方ではまた情緒的な要素も加えられよう、点光源、線光源から面光源という進化も考えられよう、管球に灯具の改善に日立製作所の努力はいつそう発展して行くのである。

#### (b) 環境温度への挑戦

暑い、寒い、人間の行動や快感を左右する大きな因子である。

光の場合と同様に物が燃焼するとき熱を発生することから、寒いときに暖をとる手段の歴史は古い。寒暖の地域に応じてちがった形に発展して来ているが、戦後しばらく日本の暖房の主力は炭火であった。石油の産出の少ない日本では石油を利用する暖房の発達は遅かったが、戦後急速に普及し、電気やガスの利用の拡大とともに暖房の大変革を起し、着火、消火のめんどうな炭火を駆逐してしまった。一般家庭でこたつは電気になり、火ばちは石油ストーブ、ガスストーブにおきかえられ、炭火にはめったにお目にかかれぬ。

日立製作所では電気ストーブ、石油ストーブ、ガスストーブなどの暖房器具の提供で貢献して来たが、世の中は一へやごとの暖房から集中暖房の比重が多くなりつつあり、これに応じた機器に進んでいる。将来は単に部屋をあたためるということではなく、自動的なコントロールということも多くとり入れられて行くことであろう。

暖房に反して暑い時に涼をとることは技術的なむずかしさからかなり遅くなった。一般家庭で最初に利用されたのは扇風機であろう。本格的な冷房はむしろ劇場やデパートなどの大形ビルディングから始まり、最近になってやっと家庭に普及しようとしている状況である。このように暖房の場合と発達経過がちがうので、へやごとの冷房とあまり時間差なく、集中化の傾向があらわれている。

日立製作所はこれらの発展に常に先駆的な役割を示して来ている。すなわち約50年前、創立後ほどなく電動機の応用として扇風機を作り、その後大形冷凍機から小形冷房機に至るまで常に時代の要求にこたえている。

#### (c) 家庭生活における省力

家庭生活における省力は特に主婦にとって強い要望である。婦人が外で活動することが多くなった現代——このこと自体が省力機器の発達の結果でもある——ますますこの要求が強くなっている。

戦前の家庭省力機器といえばガス厨房機器、氷冷蔵庫が主力で、電気製品など日立製作所が古くから作っていた井戸ポンプや電気冷蔵庫ぐらいのものであった。戦後の省力機器の発展は全く目を見はるものがある。自動炊飯器からはじまり、電気冷蔵庫の普及、洗濯機の出現があいついでおり、これらの機器のない家庭にお目にかかりにくいくらいである。眠っているうちにごはんがたけていたり、ほかの仕事をしているうちに洗濯ができたり、昔の人には考えられなかったことであろう。これらのほかにも掃除器、ロースター、パン焼器、ジュース、ミキサー

など省力機器は枚挙にいとまがない。

家庭省力に対する日立製作所の貢献はいまさらとりたてて述べるまでもないくらい大きい。昭和43年発表して注目をあびている食器洗い機はいま一つの省力への挑戦である。

家庭生活の省力は家庭内にある機器によっているだけではない。上水道などもその一つの例であり、そこで古くから活躍している日立製のポンプの役割も忘れてはなるまい。

#### (d) レジャーを楽しむ

交通や照明の発達、省力機器の普及と生産の合理化があいまって余裕時間を生じ、前にも述べたように趣味、娯楽に使う時間の比率はきわめて大きくなって来ている。

ラジオ、テレビは言うに及ぶまい。テープレコーダを含めたステレオの普及も大きな流れであろう。トランシーバーも高級玩具的なレジャー用品になる要素をもっている。ここに要求されるのは電子技術や音響技術だけではない。これらと人間との調和である。色をどう感じるか、音をどう感じるかというようなことの解明が機器の進歩発展に強くむすびついて行くだろう。日立製作所の研究開発はこの点も見逃していない。そこから得られる知見が回路技術などに導入され、さらにすぐれた機器に発展して行くことが期待できる。

#### (e) 有害な環境は除け

積極的な省力やレジャーを楽しむための機器の役割もさることながら、有害環境の排除もきわめて重要である。

最も身近なものには家庭におけるゴミや汚物の除去があげられよう。ここに電気掃除機や、簡易な衛生機器、換気扇などの機器が、日立の名のもとに貢献している。エアクリーナなどもこれに属している。さらに公共的になれば塵芥(じんがい)焼却や下水処理などがあるが、ここにも日立製作所が活躍している。

最近工業の発達や自動車の増加から、大気や河川の汚染はきわめて急速に増大しており、国としても重大問題として法律的規制も種々検討されようとしている。自動車排ガスの清浄、工場煤煙の除去、重油火力発電所排ガスの脱硫など日立製作所の重要な研究開発課題である。

特に重油火力発電所排ガスの脱硫については政府の大型開発プロジェクトに参加、東京電力株式会社との協力のもとに多くの人員を投入して開発に努力している。

## お わ り に

次の時代は情報化社会であるといわれている。その社会がどのようなもので、いつ、どのような経過をたどってそこへ到達するかについては多くの議論がある。

しかし家庭の電化、機械化はますます発達し、制御、それも情報伝達網を通じての遠隔制御が採り入れられて行くことになるのは間違いなさそうである。

冷暖房も次第に集中化の比重が大きくなり、一部に地域冷暖房の出現するのもそう遠くないかも知れない。公害は音、光、臭、電波などを含めていよいよ対策に注意が払われることになろう。これらの進化は世界中、日本中一率に進むわけではない。先進地域に対してはさらに進んだ開発が、後進地区には現在あるいはその改良技術が役だつことになろう。総合メーカーとしての日立製作所はその系列会社とともに社会や国民に対する責任を痛感し、期待にこたえるよういっそうの努力を決意している。

# ESP 法による音響機器の設計

## Design of Sound Reproducing System by ESP Method

中山 剛\*      宮川 陸男\*      三浦 種敏\*\*  
 Takeshi Nakayama      Rikuo Miyagawa      Tanetoshi Miura

### 要 旨

従来、設計者の勘や経験に依存してきた音響機器の設計を、合理的な基盤に立って行ない、顧客の好みに最も適合した音質の機器とする方法を開発した。開発に当たっては、受聴者内部での音質評価過程を解析し、音刺激が多次元要素感覚に変換される要素感覚過程と、感覚情報から音質の好みの判断が形成される総合情緒過程の2段階よりなるモデルを設定した。このモデルでは多次元要素感覚量は音源と伝送系の物理特性の関数として表わされ、また最終的な音質の好みは各要素感覚量と個人の欲求によってきまる重みとの積和で与えられる。このモデルが妥当であることを実験によって検証し、種々な音源と伝送特性に対する多次元要素感覚量を与える「音質設計チャート」を作成した。また代表的な顧客層についての重みを求めた。これにより特定の顧客層を対象とした機器設計を行なう際に、その層の音質の好みを最大にする機器の物理特性の仕様を定めることが可能となった。この方法は Emotional response, Sensation および Physical Characteristics の間に存在する上記の関係に基づいて音質設計を行なうため ESP 法と命名された。

日立製作所においては昭和42年度下期以降発売の日立ステレオ電蓄“キャッスル・シリーズ”全機種設計にこの ESP 法を適用し効果をあげている。

### 1. 緒 言

音響機器の音質のよしあしを評価し、設計に役だてようとする研究は1930年代から行なわれてきた。しかしこれが本格的に進められるようになったのは1950年代の後半からである。これは通信工学の発達によって、一般家庭用の音響機器でも音質の微妙な差異を問題とし得るようになったことと、音質の判断という主観的な現象を数量的に記述する計量心理学が急速に進歩したことによる。

音質評価の研究は諸外国に比較して日本で特にさかんである。その緒は越川氏<sup>(1)</sup>の音声自然度の研究であり、音質の研究に距離尺度を初めて導入したものとして意義深い。これにつづいて立体音の本質的な性質が方向定位因子と残響感因子とによって構成されることを発見した吉田氏<sup>(2)</sup>の因子分析的研究、楽音の音色が美的因子、迫力因子、金属性因子の3因子で説明されるとする北村氏<sup>(3)</sup>、曾根氏<sup>(4)</sup>の研究などがある。

一方、音響機器を設計、製作する立場からすれば、音質評価を機器設計の一環として設計手順に組み込み、評価結果を直接設計にフィードバックしうることが望ましい。このためには、単に音質あるいは音色形成の要因の記述にとどまらず、それを受聴者がどう価値づけるかによってきまる総合的な音質のよしあし、あるいは好みとの関係、ならびにこれら要因と機器の物理特性との関係を定量的に知ることが必要である。これが実現すれば、機器の物理特性から、特定の受聴者がその音質をどの程度好むかを推定でき、また逆に好みを最大にする物理特性を求めることもできる。

以上の目標を達成しうる音質評価法はこれまで存在しなかった。これを実現するためには、音質判断系としての受聴者の理解が必要である。すなわち、再生音を受聴者が聞いて、総合的な音質のよしあし、または好みの判断を行なうにいたる心理的過程を分析し、モデル化し、これに基づいて一貫した音質評価の体系を作らなければならない。われわれはこれを実現するために、音質評価法の基本的考察、方法論的検討およびその結果の実験的検証をへて、実際に機器設計に使用しうる音質設計法を完成した。この方法の基本的な考え方は昭和38年に三浦<sup>(5)</sup>が音響学会で発表した<sup>(5)</sup>が、松下通信工業の吉田氏<sup>(6)</sup>も類似の考え方を約1ヶ月遅れて通信学会で発表され

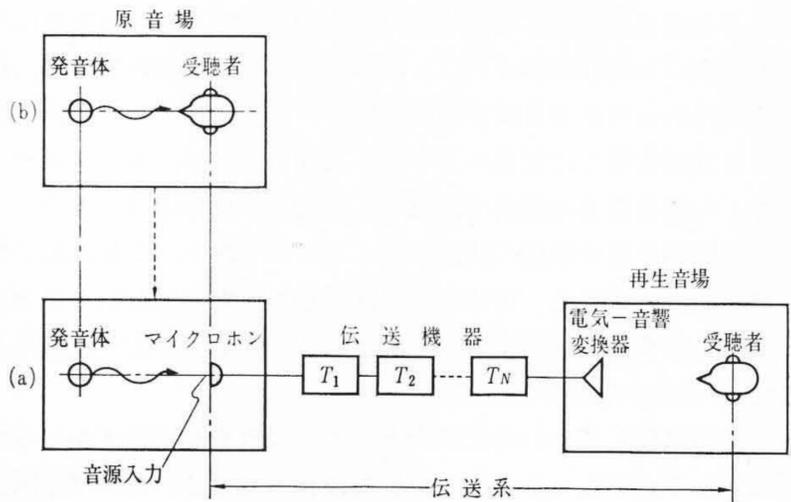


図1 音源、伝送系、受聴者の関係

ている。

### 2. 方法論的検討

#### 2.1 伝送品質の定量

図1に示すような音源、伝送系、受聴者を含む音質評価の系を考える<sup>(7)</sup>。ここで音源とは図1(a)の原音場におけるマイクロホン入力をさすものとする。これは図1(b)のように、原音場のマイクロホン位置に受聴者を置いた場合に、受聴者に与えられる感情的、情緒的情報を再生音場の受聴者に伝送することが、この場合の情報伝送の目的であるとする考え方による。また伝送系は原音場におけるマイクロホンから再生音場における受聴者にいたるまでのすべての系を含むものとする。

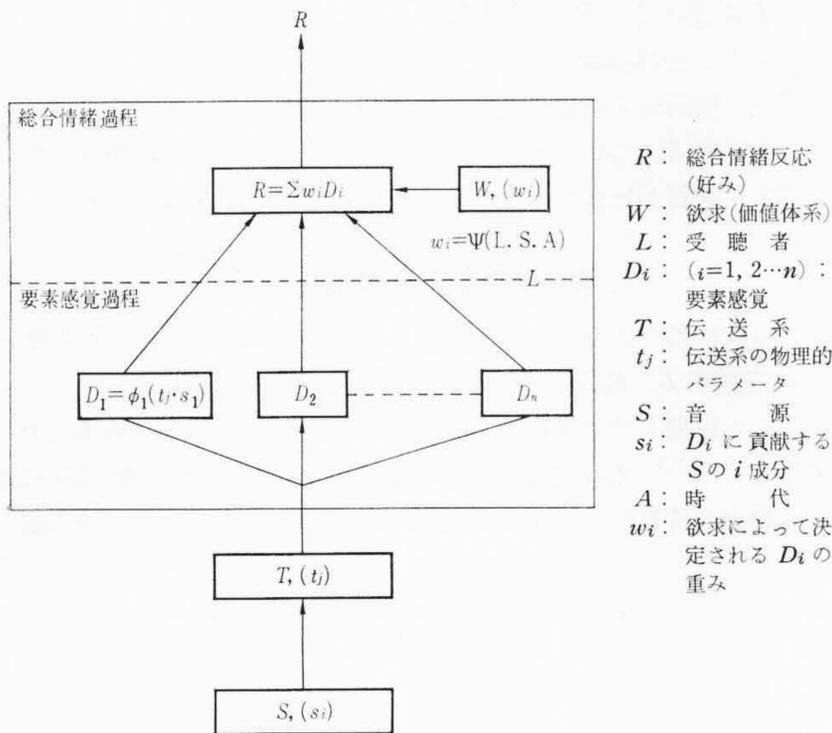
三浦<sup>(5)</sup>によれば、電話における通話品質は意志の表現過程における音声、伝送過程における伝送路特性ならびに解読過程の聴覚機能などの良さが関係しており、通話品質  $Q$  は

$$Q = F(S, T, L) \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。ここで  $S$  は音声品質、 $T$  は伝送品質、 $L$  は受聴品質である。通話品質の測度は明りょう度、了解度であるが、音楽信号伝送機器の音質でも、測度を音質の好みの尺度などのような価値判断を含んだ尺度に置き換えることによって、同じ関係が成立する。この場合の  $S$  は音源品質である。

図1の伝送系において問題とする伝送品質を定量するためには、 $S, L$  を基準化(基準となる音源、受聴者に固定)し、伝送系の物理

\* 日立製作所中央研究所  
 \*\* 日立製作所中央研究所 工学博士



的パラメータを变量として再生音の品質  $Q$  を計測すればよい。伝送系を構成する特定の部分的な系、たとえば図1(a)の  $T_1$  の伝送品質を定量する場合には、 $S, L$  の基準化と同時に、 $T_1$  以外のすべての伝送系を基準化すればよい。たとえばピックアップの伝送品質を定量する場合には、ターンテーブル、再生用の増幅器、スピーカ、試聴室、受聴者などを固定するとともに、同一レコードの使用により、レコードの製造過程に関するすべての系、すなわち音源、マイクロホン、録音機などを基準化して、ピックアップの差異のみによる伝送品質の差異を計測することが可能となる。

2.2 音質評価過程のモデル

ここで、前述のように伝送品質の決定に関与する受聴者内部の過程が問題となる。心理学的な考察<sup>(9)</sup>の結果、この過程を図2に示すモデル<sup>(10)(11)</sup>で表現することにした。このモデルでは受聴者内における心理的過程を、個人差と時間的変動が少なく、機器の物理特性と安定に関係づけうる要素感覚過程と、個人や時代によって大幅に変化する総合情緒過程の2段階に分けた。

要素感覚過程では再生音により多次元の要素感覚  $D_i (i=1, 2, \dots, n)$  が生ずるが、これは(2)式に示すように伝送系の物理的パラメータ  $t_j$  と、音源の  $D_i$  に貢献する成分  $s_i$  に一義的に関係づけられる。

$$D_i = \phi_i(t_j, s_i) \dots\dots\dots (2)$$

また総合情緒過程における音質の好み(総合情緒的レスポンス)  $R$  は受聴者の欲求によって定まる重み  $w_i$  によって次のように与えられる。

$$R = \sum_{i=1}^n w_i D_i \dots\dots\dots (3)$$

$w_i$  は受聴者  $L$ 、音源  $S$ 、時代  $A$  によって操作的に規定される。

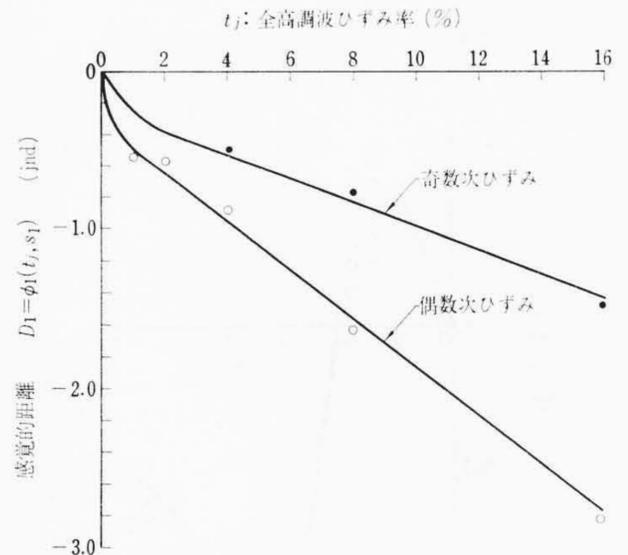
$$w_i = \phi(L, S, A) \dots\dots\dots (4)$$

このように、この方法では Emotional response, Sensation および Physical characteristics の間に存在する上記の関係にもとづいて音質設計を行なうため、ESP法と命名された。

2.3 尺度構成法

このモデルにしたがえば、要素感覚  $D_i$  と好み  $R$  の尺度を構成するための方法は次の条件を満たす必要がある。

- (1)  $D_i (i=1, 2, \dots, n)$  を  $n$  次元の直交座標で与えること。
- (2)  $D_i$  を音質表現語などの不明確な基準によらず、再生音の感覚的差異のみから多次元的な距離として求めうること。
- (3)  $R$  と  $D_i$  の単位を線形変換によって関係づけうること。



縦軸の単位 (jnd) は弁別限  
図3  $\phi_1$  の関数形の例

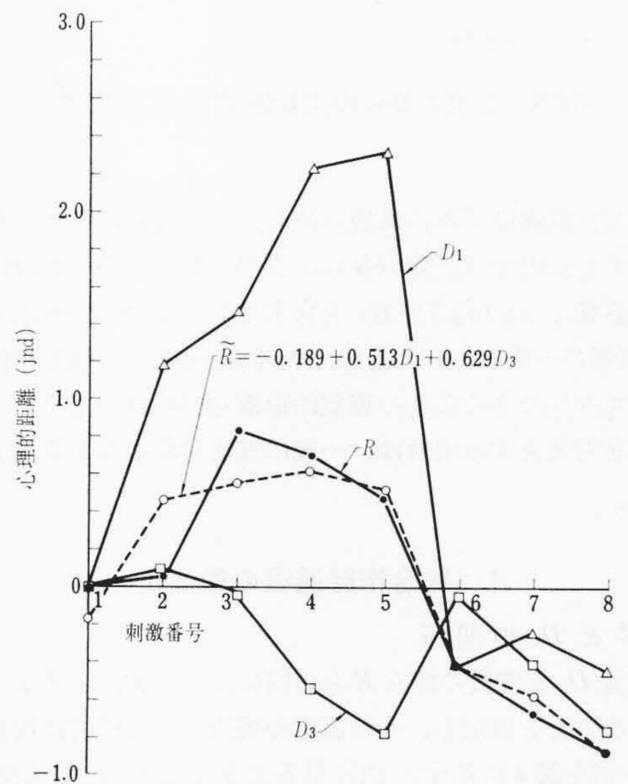


図4 音質の好み  $R$  と要素感覚  $D_1, D_3$  の関係

(4)  $R$  と  $D_i$  の尺度値が加法性を有すること。

この条件を満たす方法として、 $D_i$  の尺度化には多次元尺度構成法<sup>(12)</sup>を、 $R$  の尺度化には一対比較法<sup>(13)</sup>を採用した。多次元尺度構成法は再生音間の感覚的類似性の判断に基づいて、再生音の感覚の多次元的な距離を求める方法である。感覚空間軸の心理的意味は類似性判断を行なわせたあとで、類似性を記述する音質表現語を指示させたデータをもとに行なっている<sup>(14)</sup>。従来、この種の多次元尺度を構成する際には、音質表現語で判断の基準を与え、この判断の分布に基づいて尺度を構成する方法がとられていたが、われわれの方法では、逆に、多次元尺度をさきに求め、ついで尺度の言語的な意味づけを行なうという手続をとっている。これによって言語の意味のあいまいさからくる尺度の片寄りや誤差を除いている。

3. 要素感覚過程の数量化

図2のモデルに従った音質評価体系を実現するためには、まず再生音の音質の感覚を説明するに必要な要素感覚の次元数  $n$  と、(2)式の  $\phi_i$  の関数形を伝送系の種々な物理的パラメータ  $t_j$  と音源特性  $s_i$  (これは現在のところ物理量で完全に記述できないため、レコード番号や小節の指定によって操作的に規定する) について求める。これにより特定の音源  $S$  については、伝送系の物理特性  $t_j$  が与えられれば要素感覚  $D_i$  を推定しうようになる。

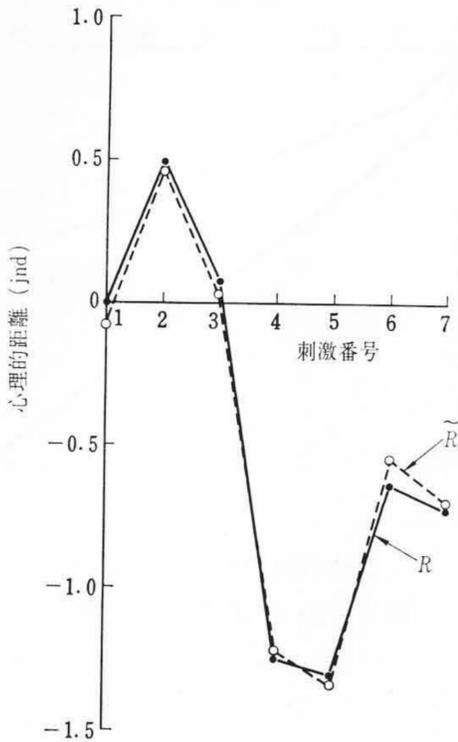


図5 音質の好みの実測値  $R$  と推定値  $\tilde{R}$

$t_i$ として非直線ひずみ、低域ろ波および高域ろ波をとった場合には、直交する三次元の感覚が得られる<sup>(9)</sup>。これを  $D_1$  (雑音性感覚),  $D_2$  (低音感覚),  $D_3$  (高音感覚) と命名した。図3は  $D_1$  に対応する  $\phi_1$  の関数形の一例を示したものである。図3の縦軸の単位は差が耳で聴いて弁別できる最小の感覚的距離(弁別限)である。ステレオ電蓄などを対象とする場合は、一般に五次元程度の要素感覚を考えればよい。

#### 4. 総合情緒過程の数量化

##### 4.1 $R$ と $D_i$ の関係

要素感覚  $D_i$  と音質の好み  $R$  との間には(3)式に示すような関係が存在することを仮定し、その仮定の妥当性を実験的に検討した結果<sup>(15)</sup>の一例を図4に示す。図に見るように二次元の要素感覚  $D_1$ ,  $D_3$  と、音質の好み  $R$  の実測値を求め、 $R$  の  $D_i$  に対する重線形回帰係数を求めれば  $w_i$  が得られる。ついで  $w_i$  と  $D_i$  の積和によって  $R$  の推定値  $\tilde{R}$  を求めると、これは実測値  $R$  とかなりよく一致する。 $D_i$  を二次元でなく五次元として、実際の市販ステレオ電蓄を対象として同様な実験を試みたところ、 $R$  と  $\tilde{R}$  の一致はもっとよくなることがわかった。

##### 4.2 $w_i$ の安定性の検討

ついで(4)式に示すように、 $w_i$  が  $L$ ,  $S$ ,  $A$  のみの関数であり、伝送系の物理特性  $t_i$  によって影響されぬことを実証するため、次のような実験を行なった。まず特定の  $L$  と  $S$  について前記のような実験を行ない、 $w_i$  を求めておく。次に机上で任意に設定した仮想的な  $t_i$  に対する  $D_i$  の値を、 $\phi_i$  の関数形を示すチャートから推定する。これと  $w_i$  との積和から音質の好みの推定値  $\tilde{R}$  が求まる。ついで、この仮想的な  $t_i$  をアナログシミュレータによって実現し、その系を通った上記の音源  $S$  の再生音を、同じ  $L$  に聞かせて好みの実

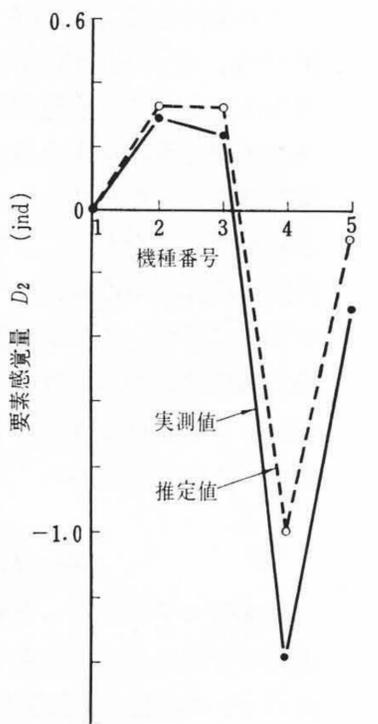


図7 音質設計チャートによる市販ステレオ電蓄についての  $D_2$  の推定値と実測値の比較

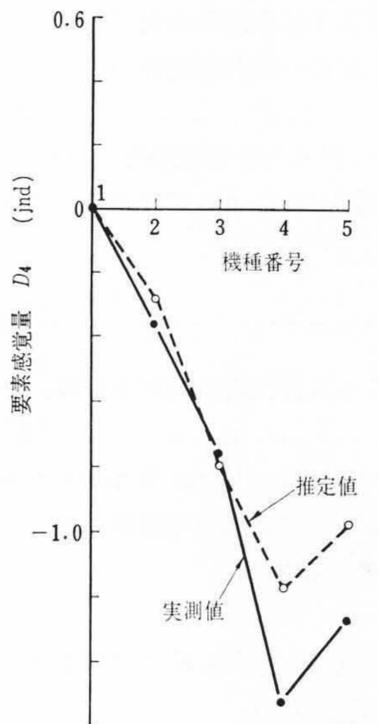


図8 音質設計チャートによる市販ステレオ電蓄についての  $D_4$  の推定値と実測値の比較

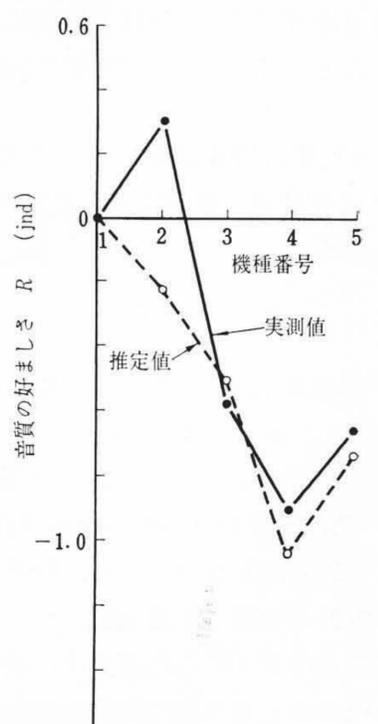


図9 音質設計チャートによる市販ステレオ電蓄についての音質の好ましき  $R$  の推定値と実測値の比較

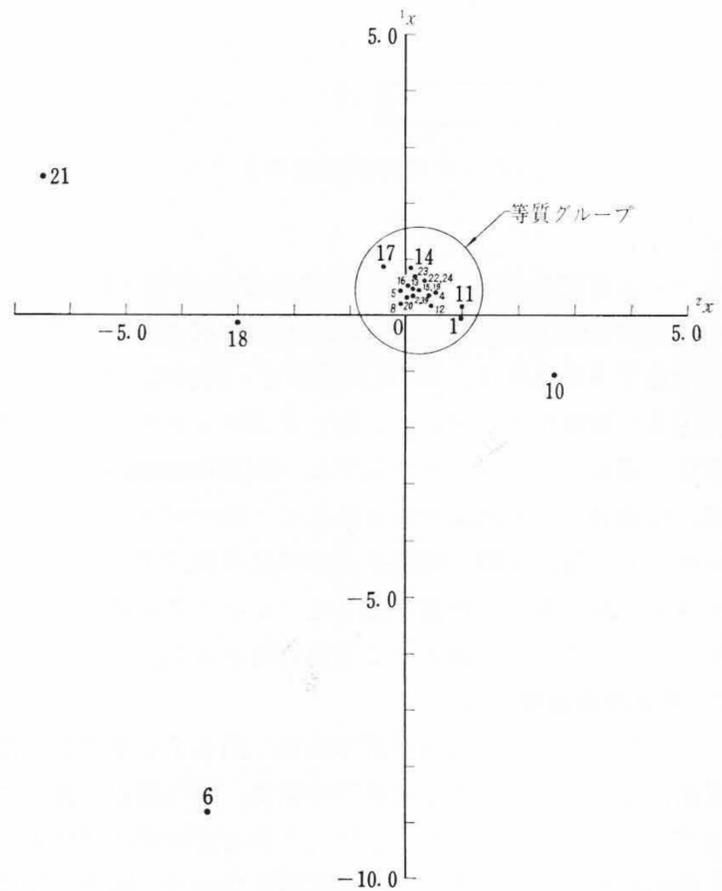
測値  $R$  を求める。 $R$  と  $\tilde{R}$  を図5に示したが、両者はきわめてよく一致することがわかる。

以上の結果から対象の機器の物理特性いかにかわらず、いったん各受聴者について  $w_i$  を求めておけば、機器の物理特性の測定だけで、音質が好まれる度合いを推定できることが確認された。

#### 5. 受聴者集団構造の分析

(4)式に示すように、音質の好み  $R$  に対する要素感覚  $D_i$  の重み  $w_i$  は受聴者  $L$ , 音源  $S$ , 時代  $A$  の関数と考えられる。

ここで短期間では  $w_i$  の変動がないものとするれば、種々な  $L$  と  $S$  の組み合わせについて  $w_i$  を求めておけば、任意の  $S$  を任意の伝送系に通した場合の音質が、ある  $L$  に好まれる度合いを推定でき、逆に音質



(点に付した番号は受聴者番号)

図6 音質の好みに関する受聴者間の二次元的距離

の好みを最大ならしめる伝送系の物理特性を求めることもできる。

この場合、 $L$ と $S$ としては個々の受聴者と音源を考えるのではなく、音質の好みに関して特性の類似した受聴者層と音源群を考え、これらのグループの代表値としての $w_i$ を求めるのが現実的であろう。

このような目的で受聴者を特性の類似したグループに分類する方法としては林氏<sup>(16)</sup>の発案になる多次元数量化法がある。この方法で24名の男女大学生の音質の好みの分析を行なった例<sup>(17)</sup>を図6に示す。図に見るように本実験の受聴者は好みの点で等質な大多数の受聴者と、好みが相互に異なる数人の受聴者とに分かれる。この結果から受聴者はあまり多くの層に分かれないことが予想される。現在、さらに多くの階層を含む集団についてこの分析を行いつつある。

### 6. 音質設計チャートによる市販ステレオ電蓄についての $D_i$ と $R$ の推定

これまでの研究をまとめて、数種類の音源 $S$ について、機器の物理特性 $t_i$ と要素感覚 $D_i$ の関係を示す「音質設計チャート」を作成した。これは $\phi_i$ の関数形のグラフを集成したものであり、 $t_i$ から $D_i$ を、また逆に $D_i$ から $t_i$ を読みとることができる。このチャートの精度を検討するために、各社の6~8万円級のステレオ電蓄の諸特性を測定し、これから $D_i$ の推定値を求めた。また、前もって求めた $w_i$ との積和をとって、音質の好みの推定値 $\hat{R}$ を計算した。これを実測値と比較したのが図7, 8, 9である。これらの図からわかるように、 $D_i$ と $R$ の両方とも推定値と実測値が割合よく一致している。ちなみに図中の5機種のうち機種番号1, 2および3は音質設計チャートを用いて設計された日立製作所の製品である。

この結果から音質設計チャートには実用上十分な精度があることがわかる。

### 7. 結 言

音響機器の設計に合理的な基盤を与えるため、機器設計の一環として組み込み得る音質評価体系の樹立を目ざして研究を進めてきた。受聴者内部における音質評価過程のモデルから出発して機器特

性と要素感覚の関係を示す「音質設計チャート」を作成し、音質の好みに対する要素感覚の重み $w_i$ のデータを求めた。これによって音響機器の物理特性の測定から、計算によってその機器に対する音質の好みが知れ、また逆に好みを最大にする物理特性の仕様を与え得るようになった。

この方法は昭和42年度下期に発売された日立ステレオ電蓄、キャッスル・シリーズ以降の機種的设计に全面的に使用されている。その結果、音質に関する苦情はかげをひそめ、売上げも着実に伸びている。

終わりに常々ご指導いただいている早稲田大学理工学部、伊藤毅教授、お茶の水女子大学音楽科、大宮真琴助教授、統計数理研究所、林知己夫博士ならびに広くご討論の機会を作っていただき、有効適切なお助言をいただいた日本放送協会総合技術研究所、黒木総一郎博士に深甚なる謝意を表す。

### 参 考 文 献

- (1) 越川：信学誌，41，482（昭33）
- (2) 吉田，岩崎，永井：音響誌，16，249（昭35）
- (3) 北村，難波ほか：音響講論，1-1-18（昭36-10）
- (4) 曾根，二村：東北大電通談話会記録，30，23（昭36）
- (5) 三浦：音響講論，3-1-22（昭38-10）
- (6) 吉田：信学講論，S.3-6（昭38-11）
- (7) 中山，宮川，三浦：信学講論，S.4-3（昭42）
- (8) 三浦種敏：通話品質，5（共立出版，昭30）
- (9) 中山，越川，三浦：音響誌，21，209（昭40）
- (10) T. Nakayama, R. Miyagawa and T. Miura: Hitachi Rev., 15, 256 (1966)
- (11) 中山，三浦：音響誌，22，319（昭41）
- (12) W.S. Torgerson: Theory and methods of scaling, 247, John Wiley & Sons (1960)
- (13) L.L. Thurstone: Psychol. Rev., 34, 273 (1927)
- (14) 中山：音響講論，1-2-9（昭42-5）
- (15) 中山，宮川，三浦：音響誌，22，332（昭41）
- (16) 林：統計数理研彙報，4，19（1956）
- (17) 中山，林：音響講論，2-6-16（昭41-11）
- (18) 宮川：音響講論，2-3-12（昭43-4）



## 新 案 の 紹 介



登録実用新案 第818343号

井上貞敏・久保幸彦

### エゼクタ式冷水製造装置

従来のエゼクタ式冷水製造装置においては、凝縮器内に冷却水を流通させて凝縮器に導かれた蒸気を凝縮させるため、多量の凝縮器用冷却水を必要とする。

本考案はエゼクタ式冷水製造装置において、凝縮器にあわ接触凝縮器を用いて冷却水の使用量を節減するようにしたもので、1は熱交換器、2はフラッシュ蒸発器、3は送気管4より送給される空気によって発生する気泡（きほう）により内部の冷却水を冷却するあわ接触凝縮器、5は管11を介してあわ接触凝縮器3に連結された真空タンク、6および7は蒸気管12からの蒸気によって駆動され、それぞれフラッシュ蒸発器2および真空タンク5内を一定の真空に保つエゼクタ、8および9はポンプ、10は冷却水の補給管、13~18はそれぞれの機器を連絡した管である。

熱交換器1より管13を経てフラッシュ蒸発器2に導かれた温水はここでフラッシュされ、自己蒸発により冷水となってフラッシュ蒸発器2の底部にたまり、ポンプ8により管14を介して再び熱交換器1に送入される。一方フラッシュ蒸発器2内に発生した蒸気は管15を介してあわ接触凝縮器3に導かれてここで冷却凝縮され、冷水となって管17を介してフラッシュ蒸発器2内に送入される。なおあわ接触凝縮器3内の冷却水はその蒸発量に応じ適宜補給管10より補給され、また冷水の一部は必要に応じ管18を介してポンプ

9によりボイラなどの復水として使用され、あわ接触凝縮器3内の非凝縮ガスは管11を介して真空タンク5内に吸引される。

したがって凝縮器用冷却水を流通させる必要がなく、その使用量を著しく節減することができ安価な冷水を得ることができる。

(寺田)

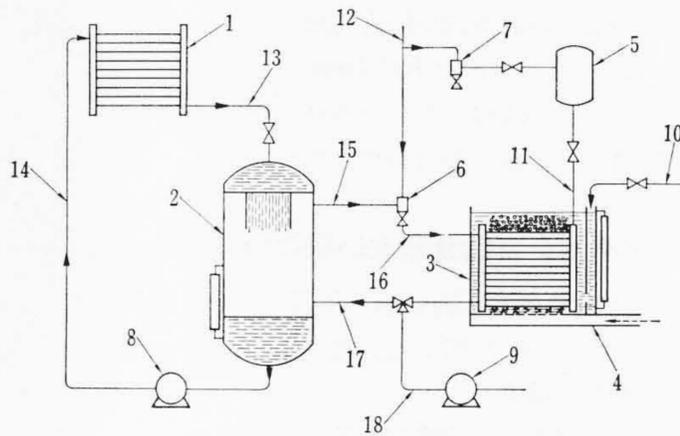


図 1

# 全自動食器洗い機の開発

## Development of Automatic Dishwasher

池田進一郎\*      藤森好則\*  
 Shin'ichirō Ikeda      Yoshinori Fujimori  
 大島亮一郎\*\*      福沢宗一\*\*  
 Ryōichirō Ōshima      Sōichi Fukuzawa

### 要 旨

食器洗い機は欧米においては数年前より急激に普及しつつあるが、わが国ではまだほとんど市場にない。この開発に当たって問題となることはわが国の食生活習慣および設置される台所設備の水準、特に給湯設備、電源容量などが欧米諸国と大きく相違しているため、これらに関連する問題を解決することが重要と考えて開発を進めた。そしてアームノズルと反射翼による2段洗浄方式、串形可逆ポンプによる洗浄、排水切換構造、水位変動に対して動作安定な全自動制御回路、分解酵素入り専用洗剤の開発などかみかみの新構想を採り入れるとともに製品の低価格化にも重点をおいて全自動食器洗い機を開発し、最初の製品としてKF-1000形を昭和43年4月より販売を開始し好評を博している。

### 1. 緒 言

家事労働軽減と生活合理化をかかげて各種の家電品が普及しはじめてすでに十数年になるが依然として合理化されない家事労働も多く残っている。たとえば食後に行なう食器の洗浄、整理の仕事はまったく取り残されている。この「食事のあとかたづけ」は時間を要し、かつ最もいやな仕事としてトップに位するもので、主婦に対するアンケート調査の結果<sup>(1)</sup>が如実にこれを物語っている。

一方この「あとかたづけ」を合理化する自動食器洗い機はアメリカにおいてすでに20年以上も前から市販され、1967年末には普及率17%を越えて、年間約160万台<sup>(2)</sup>も生産されている。またヨーロッパにおいてもここ4~5年来同様に急激に普及拡大の傾向をたどり始めている。

このような動向を考え合わせるとわが国においても同様に食器洗い機に対する多くの潜在的需要があるものと考え、日立製作所ではここに新製品開発の一環としてとりあげることにした。しかしわが国の食生活は食器の多様性、米飯主食など外国のそれと比較して非常に複雑で、したがって食器洗い機の開発に当たっては

- (1) 最も落ちにくい米飯のよごれを洗浄できる洗浄方式
- (2) 茶わん、どんぶり、小ばちなどわが国特有の食器も糸底に水たまりなく能率的に洗浄できる食器配置と洗浄機構
- (3) 契約電力10A程度 of 家庭でも使用可能
- (4) 最高の操作性を与える洗浄から乾燥までの全自動運転化
- (5) 狭い台所に据え付けることができ、かつ流し台と併置可能な形態

などの諸問題の解決を重要と考えて設計開発を進め、実験的に検討をくり返して、所期の目的を満足する全自動食器洗い機を完成することができた。以下製品化したKF-1000形を中心にその開発において基礎となった洗浄機構および循環、排水機構に重点をおいて説明する。

### 2. KF-1000形全自動食器洗い機の概要

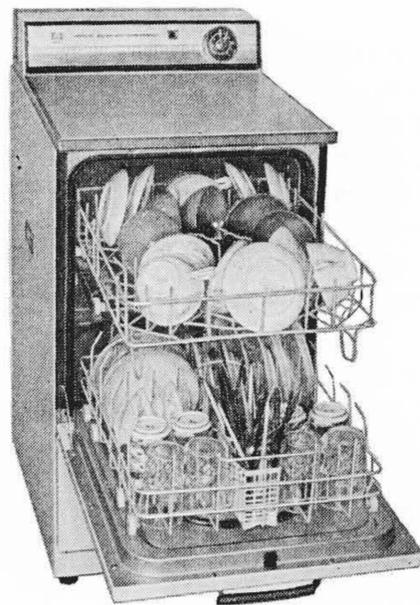
KF-1000形全自動食器洗い機の外観写真(食器を収納したところ)を図1に、構造図を図2に、仕様を表1に示す。

投入した洗浄液を洗浄槽底部の洗浄ポンプで

加圧してアームノズルに送り、シャワー状に噴出せしめ食器に衝突させて洗浄する。洗浄ポンプの下には同軸上に排水ポンプを直結し、モートルの正逆転により、洗浄と強制排水を切り換える独特の串形可逆ポンプを構成している。

表1 KF-1000形全自動食器洗い機仕様

容 量	茶わん10個、どんぶり2個、皿類10個、湯のみ・コップ類8個、合計30個、ほかはし類(5人家族用)
洗浄方式	アームノズルと反射翼によるジェットシャワー式
すすぎ方式	6回の水交換式
排水方式	強制排水式
乾燥方式	加熱対流式(ヒータ付)
全サイクル	洗い1~23分+すすぎ13分+乾燥24分、合計38~60分(全自動式)
循環水量	約4.5l
全消費水量	約32l
全消費電力	約0.7kWh
ストレーナ	セルフクリーニング方式
ポンプ	洗浄用:H=3.5m Q=110l/min 排水用:H=1.5m Q=12l/min
モートル	定格出力150W, 2P, 正逆転式
ヒータ	600W シーズ線ヒータ
大 き さ	幅450×奥行550×高さ890mm
総重量	40kg



(食器収納図)

図1 KF-1000形全自動食器洗い機

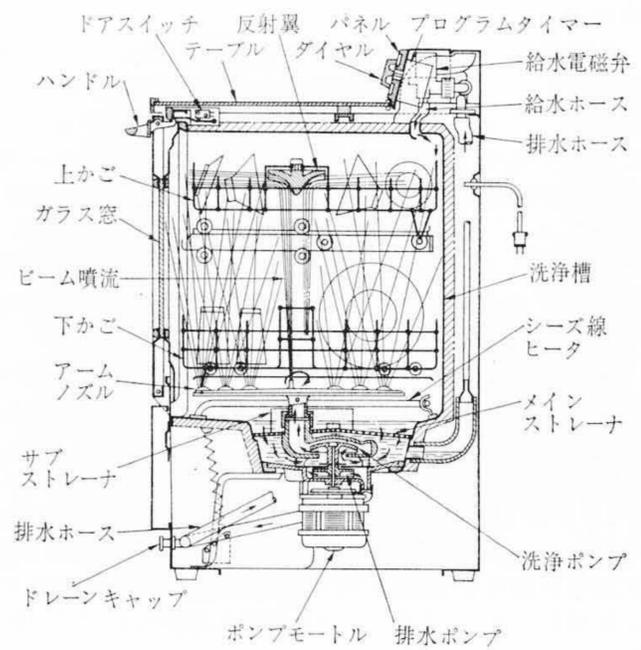


図2 KF-1000形構造図

\* 日立製作所多賀工場  
 \*\* 日立製作所日立研究所

表2 KF-1000形動作プログラム

工程	カム上	休止 休止 休止											乾燥	停止				
		22:50'	23:30'	24:40'	25:55'	26:35'	27:15'	28:00'	28:45'	29:30'	30:15'	31:00'			31:45'	32:30'	33:15'	34:15'
スイッチ		22:50'	15'	30'	25'	15'										24:15'		
メインカムスイッチ	ON	ON																
リレーカムスイッチ	a	ON																
リレーカムスイッチ	b	ON																
モートルカムスイッチ	R	ON																
モートルカムスイッチ	O	ON																
モートルカムスイッチ	F	ON																
リレー	NO	ON																
リレー	NC	ON																
リレー	NC	ON																
圧力スイッチ	NO	ON																
圧力スイッチ	NC	ON																

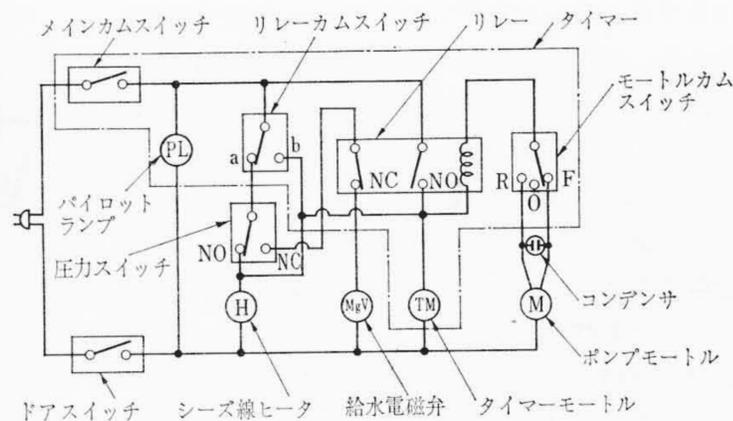


図3 KF-1000形回路構成

表3 食器使用実態調査

食事	主食の種類	食器の割合	ひとり当たりの平均使用個数						
			茶わん、鉢	どんぶり	皿	類	湯のみ	はし	スプーン
			130φ以下	131φ以上	200φ以下	201φ以上	コップ類	ぜん	ナイフ
朝食	米飯	30軒	2.07個	0.04個	0.8個	0.1個	0.6個	1.0	0.1個
	パン類	26	0.2	0.06	1.5	0.1	1.0	0.6	1.2
昼食	米飯	27	1.1	0.2	0.9	0.2	0.9	1.0	0.3
	パン類	10	0	0	0.9	0.3	0.8	0.02	1.2
	めん類	19	0.2	0.8	0.4	0.08	0.7	0.7	0.2
夕食	米飯	56	1.8	0.2	1.1	0.3	0.8	0.9	0.3
5人家族の夕食として			9.0	1.0	5.5	1.5	4.0	4.5	1.5

さらに洗浄ポンプの上部をストレーナでおおい、洗浄液をろ過して循環せしめ、また600Wのシーズ線ヒータで洗浄水加熱と食器の仕上げ乾燥とに共用している。

このほか、操作に便利なフロントオープン方式を採用するとともに、ドアには洗浄状態をチェックする透明ガラス窓を設け、かつ洗浄中にドアをあける際はシャワーが完全に停止するようハンドルと連動する安全ドアスイッチを設けてある。

自動運転に必要なプログラムタイマー、圧力スイッチ、給水電磁弁などは本体上部後方のパネル内に収納され、図3に示す回路構成により、表2に示す動作プログラムを進行するようになっている。

### 3. 洗浄機構の検討

開発に先だって諸外国の製品を調査<sup>(3)~(5)</sup>検討するとともに、わが国の食生活に適したすぐれた性能をもつ洗浄方式を見いだすため、パルセータ水流式、超音波式、プロペラ噴射式、ノズル噴射式など実現可能な各方式について実験的に検討を加えた結果、基本的な洗浄、すすぎ性能においてはわが国の食器の多様性に適合するのは面状噴射方式が最も良く、かつ使用水量や洗浄容量の面でも有利なノズル噴射による二段洗浄方式を採用することにした。すなわちアームノズルから直上する面状噴射によって下かごの食器を洗浄し、同時に直上するビーム噴流を上かごに設けた反射翼に当ててその方向を水平の放射状噴射に変換し、上かごの食器を洗浄する方式である。

以下これら洗浄機構の要素である食器かご、アームノズル、反射翼について述べる。

#### 3.1 食器かご

食器かごの形状および寸法はわが国の食器の多様性に対処するため開発過程で最も苦心を要した点であって、まず一般家庭における食器の使用実態を知るため4~5人家族の家庭を選んでアンケート調査を行なった。その結果をまとめたのが表3である。

これより最も使用個数の多い夕食時の食器数を基準とし、なるべく多くの食器を収納できるよう配慮した。

食器かごの具備機能としてはこのほか多様の食器が入れられるこ

と、容易に配列できてそれが正しく噴射水流に対応すること、噴射水の投射があっても位置ずれや反転が生じないこと、糸底に水がたまりぬことなどがあり、したがって茶わん類は横に立てて配置する必要があり、かつこの洗浄は水平投射水によらねばならぬので、必然的に茶わん類は上かごに配置されることになる。また皿類は下方からの直上噴射水でじゅうぶん洗浄しうるので下かごに収納するが、これら食器の空間を通った噴射水は上かごの食器洗浄にも寄与する。

これら諸条件を満足するため数多くの試作実験を重ね、ランダムローディング形で、表3に示す夕食の全食器を収納してさらに余裕のある食器かごの完成をみた。その収納状態は図1に示したとおりである。

#### 3.2 アームノズル

アームノズルは洗浄の主役を演ずるもので、下かごに面状噴射を、上かごにビーム噴流を送り込むこと、さらにアームノズル自体が自転する作動が必要である。

まず下かご洗浄用噴出孔は食器全面に投射をゆきわたらせるため噴流を扇膜状に広げるよう半球状突起面にスリット形の噴出孔として、左右に各3個ずつ互いに同一軌跡を通らないよう中心からの距離をずらして配置してある。

さらにビーム噴流噴出孔は後述の反射翼と関連してアームノズルの回転中心と偏心した位置にあって、円軌跡上を移動するようにしつつビーム噴流の広がりを防止するため円筒形ノズル状噴出孔としてある。また自転用噴出孔は左右に2個設けられている。

噴射流量および各噴出孔寸法は次式から求められる。

$$Q = \frac{102\eta W}{\gamma H} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = \sqrt{2gH} (6a_1c_1 + 2a_2c_2 + a_3c_3) \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、 Q: 洗浄液の流量 (m<sup>3</sup>/s)
- H: 洗浄液の圧力水頭 (m)
- γ: 洗浄液の単位重量 (kg/m<sup>3</sup>)
- W: ポンプ入力 (kW)
- η: ポンプ効率
- g: 重力の加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- a: 噴出孔面積 (m<sup>2</sup>)
- (a<sub>1</sub>: 洗浄用, a<sub>2</sub>: 自転用, a<sub>3</sub>: ビーム用)
- c: 噴出孔の流量係数
- (c<sub>1</sub>: 洗浄用, c<sub>2</sub>: 自転用, c<sub>3</sub>: ビーム用)

ここで消費電力の制約よりモートルの定格出力を150Wと定める。洗浄液の圧力は洗浄力および食器の飛びはねより約3~4mが適当であり、ポンプ効率は低揚程形ポリユートポンプとしてη≒45%と仮定すると、(1)式より流量は約110l/minとなる。

この流量を最も効率良く上下の食器に分配するため、その噴出孔の形状より(2)式においてc<sub>1</sub>およびc<sub>2</sub>を0.7、c<sub>3</sub>を0.95と仮定し、各噴出孔の面積と寸法に実験的な試行をくり返した。洗浄用噴出孔

は目づまり防止を考慮し長さ20mmで最大幅2.8mmに、ビーム用噴出孔は直径5mmに、自転用噴出孔はノズル回転数の適正值(約40~70rpm)を考慮して直径5mmに設定した。

### 3.3 反射翼

反射翼は上かごに配置した食器にまんべんなく投射するようなものでなければならない。しかも食器と反射翼とは固定しているの直上するビーム噴流を動かし、かつ反射面をくふうする必要がある。そこでビーム噴流は3.2で述べたように円軌跡で移動するようにし、反射面は立てて配置した食器の上から下までなるべく広く投射するよう種々試作検討の結果、噴射水出口の方向を上下のある迎角を維持できるように区分された二段の水通路をそれぞれ8個、合計16個を交互に設け、配置された食器には最低二段の水流が必ず集中して投射されるようにした。

## 4. 循環, 排水機構

食器洗い機は、洗浄液を連続して噴出投射する循環機能と、洗浄終了後食品くずとともに機外に排水する機能が必要である。この両機能をつかさどる方策は種々あるが、前述の洗浄機構の特殊性に合致し、かつ簡単な機構について比較検討した結果、駆動モータの軸上に洗浄ポンプと排水ポンプを重ねて配置し、正逆転によりそれぞれが別個に作動する構成が最も当を得ているものである。

しかし正逆回転時に一方を停止させるクラッチやバルブなどを用いることは、構造の複雑化と寿命から好ましくないためこれらの補助機構はいっさい用いない方針をとった。そして排水ポンプの吸込口と吐出口の合理的な位置設定により完全に機能を果たす串形可逆ポンプを完成した。

また食器から離脱した固形物が洗浄ポンプにはいらず、排水時には完全に機外に排出する機能は不可欠の条件で、ポンプとストレーナの合理的な関連構成を検討しセルフクリーニング機能を有するストレーナを完成した。それら循環, 排水機構を示したのが図4である。

### 4.1 洗浄ポンプ

前述のように洗浄ポンプの容量はその動作点で圧力0.35kg/cm<sup>2</sup>、水量110l/minを満足せねばならない。またたとえ小さな食品くずが流入しても羽根車がロックしてはならないので、吸込側のシュラウドを削除してオープン形の渦巻羽根とし、ケーシングとの軸方向空げきを0.1~0.4mmに設定した。回転数は50および60Hzに対して2,750および3,350rpmで、それぞれ専用羽根車の交換のみで各Hz時に対処できるようにしてある。

### 4.2 排水ポンプ

高い流し台に排水し、かつプログラムコントロールの時間設定から、動作点において圧力0.15kg/cm<sup>2</sup>、水量12l/minの容量が必要である。また洗浄中は吐出口から水を出さず、かつ消費動力を軽減する機能が必要である。

さて、ポンプの正逆転により前記機能を具現するため各種の試作を行なった結果、ケーシング水通路内の正圧、負圧転換部位と吸込口とを関連づける方策に着目し、まず正逆転時のケーシング内圧力分布を測定した。この結果を示したのが図5である。

これから逆転時には負圧、正転時には正圧になる点の存在することがわかり、ここに吸込口を設けた結果、好調に動作するポンプを得た。これにより洗浄中の正転時はケーシング内に空気が吸い込まれ羽根車は気水混合液中で回転することになり、所要動力を低減することができた。

なお羽根車には、合成ゴム製の放射8枚羽根を採用し、食品くず

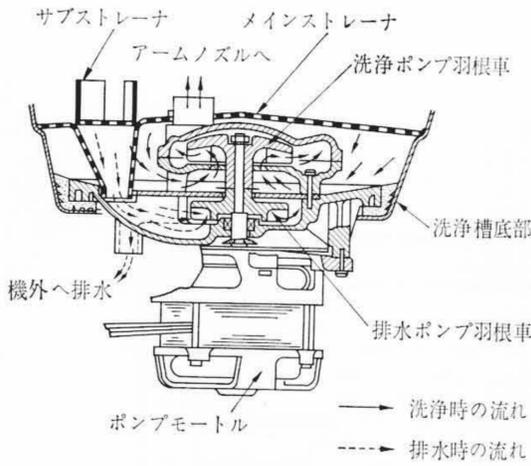


図4 循環, 排水機構

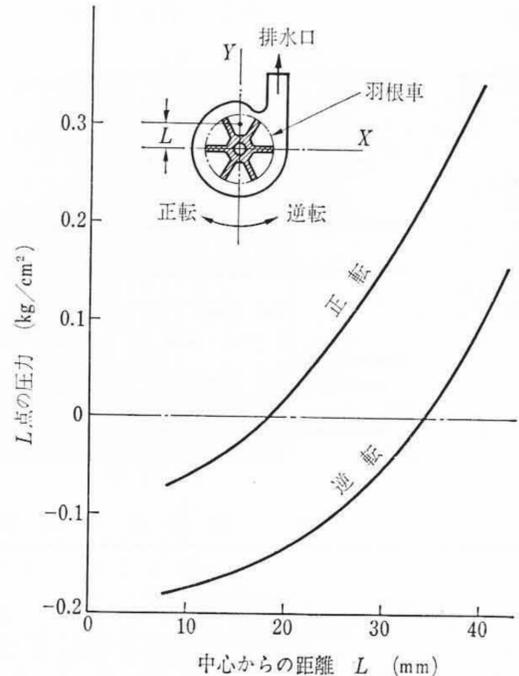


図5 排水ポンプ内Y軸上の圧力分布

を排出する際のロックを防止した。

### 4.3 ストレーナ

食器から離脱した食品くずが洗浄ポンプにはいると羽根車のロック、ノズルの目づまりを起し、離脱した食品くずをふたたび食器に投射することになるので避けねばならない。一方食品くずを捕集し自動的に機外に排出する機能もぜひ必要である。このことは毎回槽内を掃除するわずらわしさをなくすためにも重要なことである。

さて食品くずの洗浄ポンプへの流入防止はその上方をストレーナでおおえばよいが、ここで捕えた食品くずを排水ポンプの吸込口に集める機能を与えるため、実験的に検討を重ね、排水ポンプの吸込口上方にじょうご形の捕集室を設け洗浄液をこの壁面から洗浄ポンプに吸い込まれるように構成した結果、残留していた食品くずがこの部分に向かっていっしょに流入することとなって、ストレーナのセルフクリーニング作用が実現した。

表4 食器汚染方法 (KF-1000形)

汚染食器	汚染物 総付着量	米	飯	半熟卵	バター	生卵	インスタント コーヒー
		10g	10g	10g	3g	8cc	
茶わん	10個	7個	2個	1個			
どんぶり	2個	1個				1個	
大皿	2個		1個	1個			
中深皿	3個	1個	1個	1個			
中皿	3個	1個	1個	1個			
小皿	2個		1個	1個			
湯のみ	4個						4個
コップ	4個						4個
はし	6ぜん	1, 3, 4ぜん	1ぜん	1ぜん	1ぜん		
大さじ	3個	1, 3, 4個	1個	1個	1個		
小さじ	3個	1, 3, 4個	1個	1個	1個		

記号の説明

- ..... 食器に入れてかくはんし内側全面に汚染する
- ⊕ ..... 食器内側にブラシにより幅約40mmの帯状に汚染する
- ⊙ ..... 食器に注ぎ入れて内側全面を汚染する

表5 洗浄判定基準

評点	内容
5	完全洗浄 (完全に汚れなし、水あとは無視する。)
4	虫ピンの頭大1~2個またはわずかに薄い膜あり。
3	飯粒大1~3個またははっきりした4cm <sup>2</sup> 以下の膜、あるいは食器全面積の約半分以下の薄膜あり。
2	飯粒大4~7個またははっきりした5~24cm <sup>2</sup> 以下の膜、あるいは食器全面積の約半分以上の薄膜あり。
1	飯粒大8個以上またははっきりした25cm <sup>2</sup> 以上の膜あり。

またたくわんのような大きい食品くずが排水ポンプ内にはいることも予想されるが、この際は羽根車をロックし排水管路を閉塞(へいそく)させることになるので捕集室上部に粗目のサブストレーナを設けてこれを防止し、さらにいったん捕集した食品くずもなるべく散逸しないよう、サブストレーナ外周部に壁状の立ち上がりを設ける構造とした。

5. 性能試験結果

5.1 洗浄性能

実際家庭における食品のよごれならびに IEC (International Electrotechnical Commission) の基準案<sup>(6)</sup>を参考に、よごれの主体をなす、でんぷん、たんぱく、脂肪などで、試験後の判定が比較的容易と考えられる米飯、半熟卵の黄味、バター、生卵、インスタントコーヒーなどの食品を選び、これらを食器の種類に応じて表4に示すように汚染して供試食器とした。

洗浄試験後の洗浄の判定は肉眼のみに依存したのでは不じゅうぶんと考えて、ヨード反応、アミドブラック 10B 染色、オイルレッド 0 染色およびよごれの退色度により検出し、その未洗浄物の程度を表5により各食器について評点付けし、洗浄性能を次式より洗浄率として算出することにした。

$$\text{洗浄率} = \frac{\sum(\text{各評点} \times \text{その評点の食器数})}{5 \times \text{全使用食器数}} \times 100 (\%) \dots (3)$$

以上により試験した結果を、数人の主婦が同様によごした食器を手洗した結果と合わせて、食品別に示したのが図6である。これより肉眼できれいになったと思われている手洗した食器も、上記検出試薬によれば容易に検出されていることから、この試験方法は実際家庭におけるより相当にきびしいものであるといえる。

5.2 すすぎ性能

本機は水交換すすぎ方式を採用しているため、その性能はすすぎ洗浄液中の洗剤濃度により表わすのが比較的簡単である。そして水交換回数とすすぎ洗浄液中の洗剤濃度との関係は次式のようになる。

$$D_n = D_0 (W/W_0)^n \dots (4)$$

- ここに、 $D_n$ :  $n$  回目の排水の洗剤濃度 (%)
- $D_0$ : 本洗浄液の洗剤濃度 (%)
- $W_0$ : 洗浄液の量 (l)
- $W$ : 排水後の残水量 (l)
- $n$ : 水交換回数

最終すすぎ洗浄液の洗剤濃度  $D_n$  は透明度その他より約 0.001% 以下なら実用上問題がないと考えられたので、上式中に ( $D_0=1, W_0=4.5, W=1$ ) として所要水交換回数を求めると約 4.6 回となるが、ここでは余裕をとり 6 回とした。

図7は本機のすすぎ時の洗剤濃度変化を電気電導度により実測した結果と、上記計算値とを合わせ示したものである。

5.3 乾燥性能

乾燥運転にはいると食器はヒータによる加熱対流により、約 60~

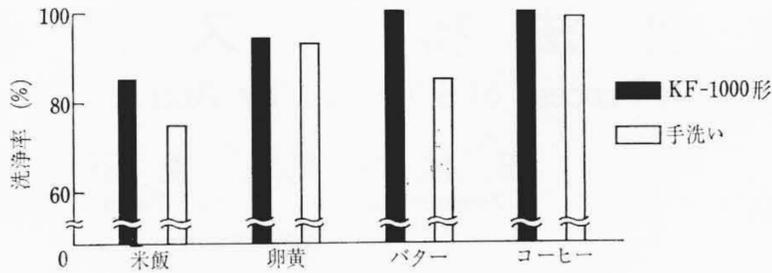


図6 洗浄性能

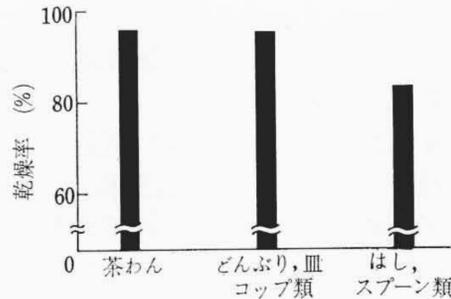


図8 乾燥性能

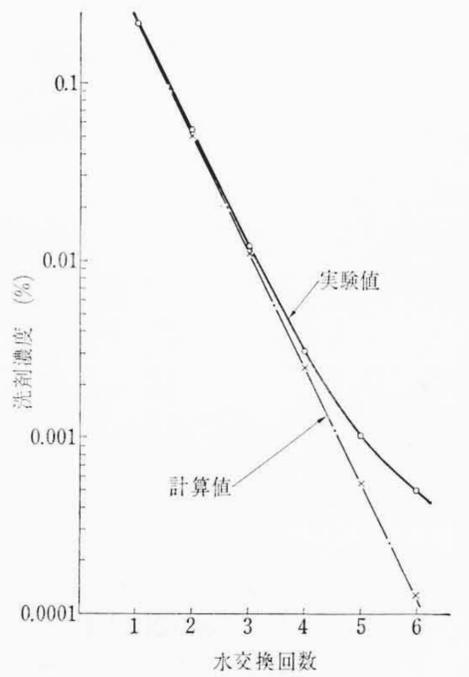


図7 すすぎ性能

70°Cにまで加熱され食器表面の水滴は蒸発する。したがって乾燥性能は実使用状態を考慮し運転終了後の予熱をも利用することにして、30分後にドアをあけて取り出し、残留水滴の程度により洗浄判定基準と類似の段階に評点付けし、同じく乾燥率として算出することにした。

図8は食器別の乾燥率を示したものである。

なおこの加熱乾燥が細菌に対してどの程度の影響を及ぼしているかについても検討した結果、普通の1億個/cc程度以下の細菌なら運転後そのまま75分以上放置しておくことによりほぼ死滅することがわかり、従来から数千個以上の雑菌を有しているといわれるふきん<sup>(7)</sup>で食器をふくのと比較して衛生的であることがわかった。

6. 結 言

以上 KF-1000 形全自動食器洗い機をとりあげて、洗浄および循環、排水機構ならびに性能試験の概要について述べた。

すなわちわが国特有の糸底を有する食器に対しても、満足しうるアームノズルと反射翼による二段洗浄方式を見いだすとともに、従来ノズル洗浄方式の欠点であった複雑な循環、排水機構を、1個の簡単な串形可逆ポンプによって実現し、一応所期の目的を満足する各種性能を得ることができた。

このほか本機の開発に当たっては断水保障機能を有し、かつ動作安定な自動プログラム回路構成、あるいは分解酵素入り消泡性洗剤の開発なども重要な問題であったが、これらについては別の機会にゆずることとする。

今後ともさらに性能、取扱性の向上を図って、より多くの人に食器洗い機の便利さを認識していただくよう努力する所存である。

最後に終始開発にご指導、ご協力いただいた関係者各位に対し深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 朝日新聞：昭39-5-10朝刊 (p.19)
- (2) Electrical Merchandising Week 100, (5) 28 (Jan. 29, 1968)
- (3) Deutsche Mark: 28, 38 (Jul. 1964)
- (4) Which?: 288 (Oct. 1965)
- (5) Consumer Reports: 30, 527 (Nov. 1965)
- (6) IEC 59A (Secretariat) 2, (Dec. 1966)
- (7) 基礎調理学 III 166 (昭37 朝倉書店)

# 活性炭法排ガス脱硫

Desulfurization Process of Flue Gas by Active Carbons

田村善助\* 菱沼孝夫\*\* 関道治\*\*\*  
Zensuke Tamura Yukio Hishinuma Michiharu Seki  
久村輝雄\*\*\*\* 森明\*\*\*\*\*  
Teruo Kumura Akira Mori

## 要 旨

本活性炭法は活性炭の特殊性を燃焼排ガスの脱硫に適用して亜硫酸ガスを吸着除去し、吸着後の活性炭を水洗いによって脱着再生しながら連続的に脱硫する方法である。

本法は財団法人工業開発研究所および東京電力株式会社と共同で開発したもので、通産省工業技術院の大型プロジェクトに採用され、東京電力株式会社と共同で委託研究を推進している。委託研究は第1段階としてすでに6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントによる試験が終了し、プロセスの妥当性が確認された。第2段階では15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラントを昭和43年10月に完成し、44年9月まで運転を行ない、スケールアップに伴う諸問題ならびにボイラとの組合せ運転などについて検討し、実用化に対処する予定になっている。

本報においては、プロセス、6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラント、15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラントについて紹介する。

## 1. 緒 言

石油系燃料の使用増加に伴い、大気中の亜硫酸ガスが増大し、特に人口密集地帯や工場地帯において亜硫酸ガスの問題が生じている。この対策としてすでに高煙突による煙の希釈拡散対策がとられているが、亜硫酸ガスの絶対量は減少せず年々増加する石油の使用に対し、じゅうぶんではない。抜本対策はイオウの除去対策にある。イオウ除去法としては重油からの直接脱硫と排ガス脱硫があり、それぞれ特長を有する両者の早期開発が望まれている。

排ガス脱硫法を大別すると、湿式法と乾式法の二つに分けられる。これらを原理的にみると、吸着剤あるいは吸収剤にて亜硫酸ガスを吸着または吸収させるとか、亜硫酸ガスを酸化して無水硫酸にするとか、亜硫酸ガスをアルカリにて中和するなどいずれも比較的簡単であるが、重油燃焼排ガスのように亜硫酸濃度が薄く、かつ膨大なガス量を取り扱う場合にいかに経済的に脱硫するかということに技術的なむずかしさがある。

湿式排ガス脱硫法には、水洗法、石灰乳法、アンモニア水法などがある。これらは一般的に建設費が安いのが、水溶液による排ガスの洗浄方式であるため排ガス温度低下による拡散力の低下、洗浄水の処理、副生物の経済的回収困難などから火力発電所のような低濃度亜硫酸ガスを含む多量の排ガスを処理する脱硫法としては乾式法に比べて現在一歩後退した形になっている。

乾式排ガス脱硫法には吸着法(活性炭法、半成コークス法)、吸収法(活性炭酸化マンガナ法、アルカリゾド・アルミナ法)、接触酸化法(気相硫酸法、硫酸回収法)などがあり、建設費は湿式法に比べて割高であるが、排ガス脱硫の本命として現在各国において研究されている。

通産省工業技術院では、排ガス脱硫技術の開発を公害対策上きわめて緊急に解決すべき問題として、昭和41年度から新しく発足した大型プロジェクト研究開発のテーマの一つに取り上げ、本活性炭法を実用化の可能性が強い有力な方法として委託研究の対象に選定された。東京電力株式会社と日立製作所は工業技術院から「活性炭法

による大形重油火力発電所排ガス中のイオウ除去技術の研究開発」というテーマの委託研究を共同で受託し、その開発の推進を図っている。

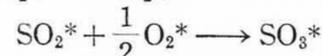
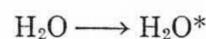
委託研究の第1段階として処理ガス量6,000 Nm<sup>3</sup>/h (2,000 kW 相当)のテストプラントを42年1月に東京電力株式会社五井火力発電所2号機わきに設置し、42年11月まで各種試験を行なった。この間約3,500時間運転し、委託研究目標の脱硫率90%を得る見通しが得られ、本法のプロセスの妥当性が確認された。

委託研究の第2段階として、処理ガス量15万 Nm<sup>3</sup>/h (55 MW 相当)のパイロットプラントを東京電力株式会社五井火力発電所6号機わきに43年10月に完成した。本パイロットプラントの設計には6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントの試験結果が反映され、今後44年9月まで運転することによりスケールアップに伴う性能、構造およびボイラとの組合せ運転法について検討し、実用化に対処する予定になっている。

## 2. 活性炭吸着法プロセス

### 2.1 プロセスの概要

燃焼排ガスのようにSO<sub>2</sub>がO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>Oと共存する場合、活性炭はSO<sub>2</sub>を化学的に吸着し、その量も図1に示すように大きい。すなわち活性炭によるガス脱硫の経過は次式に示すようにSO<sub>2</sub>の吸着、その酸化によるSO<sub>3</sub>の生成、SO<sub>3</sub>の水和反応によるH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の生成、続いてH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の水分による希釈などの反応をたどり、最終的には約70%濃度の硫酸として吸着する。



(\*印は活性炭に吸着された状態)

SO<sub>2</sub>を吸着した活性炭は水洗いすると、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の形でほとんど抽出脱着でき再生することができる。このように活性炭のSO<sub>2</sub>吸着が単なる物理吸着でなく、その吸着の大半が化学反応を伴う化学吸着によって吸着されることに着目し、燃焼排ガスからSO<sub>2</sub>を吸着除去し、SO<sub>2</sub>吸着後の活性炭を水洗いによって脱着再生してくり返し使

\* 日立製作所日立研究所 工学博士  
\*\* 日立製作所日立研究所  
\*\*\* 日立製作所中央研究所 工学博士  
\*\*\*\* パブコック日立株式会社呉工場  
\*\*\*\*\* 日立製作所機電事業本部

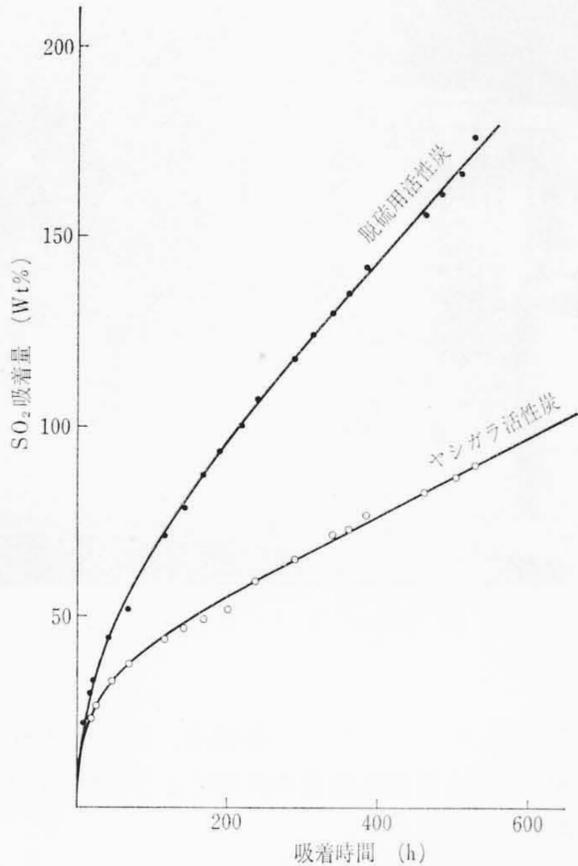


図1 活性炭のSO<sub>2</sub>吸着量

用することが、本活性炭吸着法の根幹をなしている。

図2が本法のフローシートである。本脱硫装置はボイラ出口と煙突の間に設置し、ボイラ排ガスをそのままブロワにて吸引加圧して活性炭充てん塔を通し吸着浄化する。脱硫装置は数個の活性炭充てん塔を中心に構成され、各充てん塔はそれぞれ乾燥、吸着、水洗脱着を1サイクルとして各工程を順次くり返し連続的に排ガスの脱硫を行なう。

(1) 乾燥工程

水洗脱着後のぬれた活性炭を一部のボイラ排ガスによって乾燥させるとともにSO<sub>2</sub>の吸着を行なう。

(2) 吸着工程

乾燥した活性炭を使用してボイラ排ガス中のSO<sub>2</sub>の吸着を行なう。

(3) 水洗脱着工程

吸着工程でSO<sub>2</sub>を吸着したのち活性炭を塔上部から注水し、活性炭の脱着再生を行なう。

活性炭充てん塔は固定床式のため、活性炭は移動せずガスの切換によって乾燥、吸着、水洗脱着を行なう。

洗浄水槽は脱着した硫酸の濃度によって数個に区別されており、活性炭充てん塔への注水は硫酸の濃いものから薄いものの順に使用され、最後は硫酸を含まない工業用水によって活性炭を水洗浄化する。このように水洗脱着用の水はくり返し使用されるため工業用水の補給量は少なく済み、しかも高濃度の硫酸をうるることができる。補給水量は活性炭に含水される量と硫酸濃縮にまわされ回収される量を補給するだけでじゅうぶんである。これら洗浄水槽を中心とした水洗系は活性炭充てん塔を中心としたガス系列をまとめ、共通に使用できる。すなわちたとえばガス系はボイラ1缶に対し1基であるが、水洗系はガス系2基に対し1基にまとめることもでき、設置面積の減少が可能である。

洗浄水槽中の最も濃い希硫酸(20~25%濃度)は硫酸濃縮装置に送り込まれ70%程度の薄硫酸として副生回収する。硫酸濃縮装置は液中燃焼方式を採用した濃縮缶を中心に構成され、ガス系、水洗系を数系列まとめ適当な場所に離して設置することもできる。副産品としては硫酸、石膏などの2次製品も回収でき、石灰石にて容易に中和廃棄もできる。したがって副産品回収は立地条件などにより

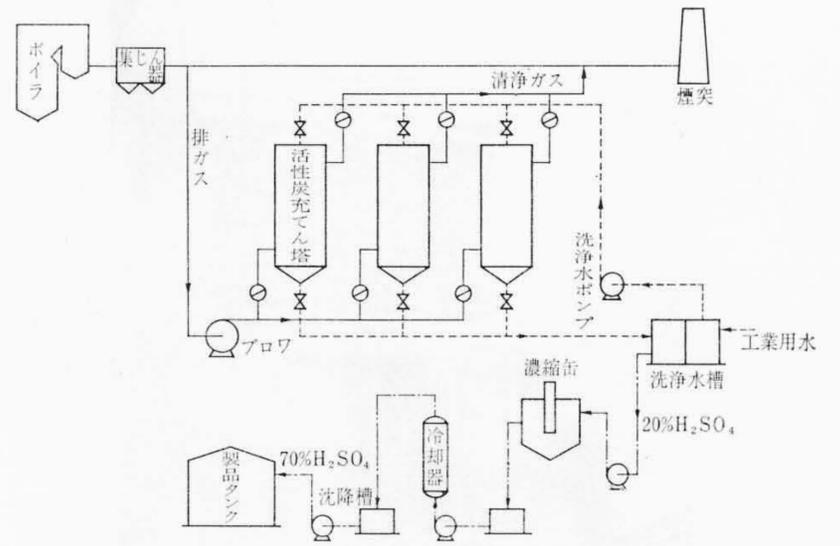


図2 活性炭吸着法フローシート

ケースバイケースに選択できる。

本法では活性炭の補給がほとんどなく、運転に要する所要材料は電気、重油、工業用水、海水などであり、特殊材料を必要としない。

2.2 活性炭吸着法の特長

本法は希薄亜硫酸ガスを含む大容量燃焼排ガスからの脱硫を対象として開発されたもので次のような特長を有している。

(1) 高い脱硫率が得られる。

亜硫酸ガスを吸着しやすい高性能な石炭系活性炭を使用している。

(2) 脱着再生が簡単である。

亜硫酸ガスを吸着した活性炭は少ない水量で簡単に脱着でき、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の形で脱着するため活性炭の化学消費がない。また活性炭に付着したダストは脱着時の水洗によりほとんど除去される。

(3) 排ガス温度は100℃以上になる。

排ガス温度が低いと煙突からの拡散が悪くなるが、本法では水洗脱着、乾燥を行なうにもかかわらず、吸着熱、反応熱などによりボイラ排ガスより10~20℃低下するだけで煙突の拡散性をそこなわない。

(4) 活性炭乾燥はボイラ排ガスでじゅうぶんである。

水洗後のぬれた活性炭の乾燥はボイラ排ガスの一部の顕熱でじゅうぶんであり、特別な熱源を必要としない。

(5) 安全である。

本法に使用する活性炭は1,000℃程度の高温で水蒸気処理し、着火点は400℃以上であり、水洗いにより脱着するため燃焼による危険性はない。また新しい活性炭に付着する少量の微粉は水力輸送により活性炭を充てんする際、装置外に出るため炭じんによる爆発の危険もない。

(6) 立地条件に支配されない。

副産品は硫酸であり、燃料以外の特殊材料を必要としない。また副産品としては硫酸、石膏などとしても回収可能であり、石灰石で中和廃棄することもできる。

(7) ボイラ構造を変える必要がない。

ボイラ排ガスの場合は空気予熱器を出た排ガスをそのまま処理でき、また副産品回収装置は別置可能なため、レイアウトが比較的容易である。

(8) 運転操作が容易である。

本法には回転部分、輸送部分などがなく、ガスおよび水の切換のみで連続的に脱硫ができる。

3. 6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラント

6,000 Nm<sup>3</sup>/h (2,000 kW 相当) テストプラントは通産省工業技術

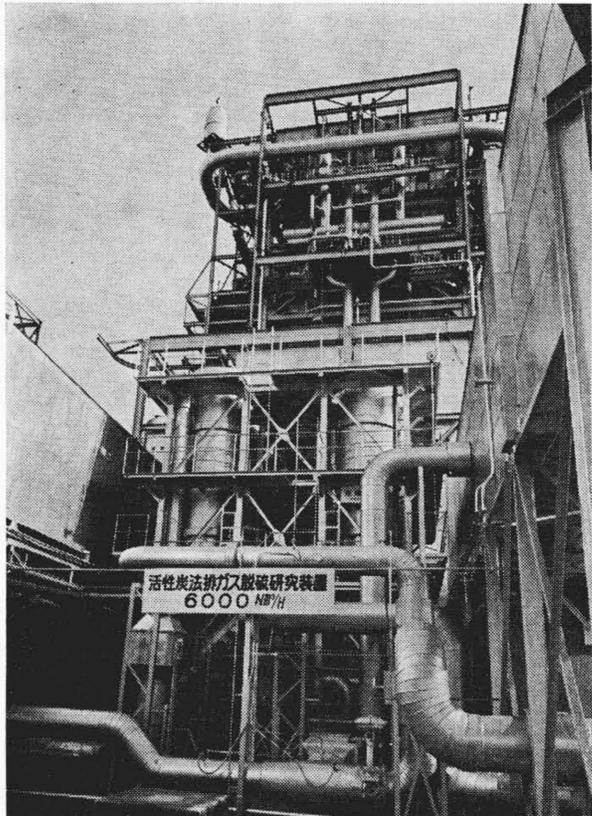


図3 6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラント

院の大型プロジェクト委託研究の第一段階として42年1月に東京電力株式会社五井火力発電所2号機(265 MW)の煙道わきに設置された。本テストプラントは42年2月から42年11月まで約3,500時間運転され、委託研究目標の脱硫率90%が達成される見通しを得、各種試験により本プロセスの妥当性を確認することにより所期の目的を達成し、42年11月に予定どおり研究を終了した。

6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントの活性炭充てん塔は乾燥塔2塔、吸着塔3塔、水洗脱着塔1塔の6塔から構成され、基準運転の塔切替時間は10時間で、乾燥、吸着、水洗脱着の1サイクルを60時間で運転した。

### 3.1 脱硫性能

活性炭の吸着性能は建設費に、また寿命は運転費に影響する。

活性炭の吸着性能が良好なほど、装置が小形化され、動力費も少なくなるため、高性能な活性炭の開発が望まれる。本テストプラントではこれまでの実験実績から3種類の石炭系活性炭を使用した。脱硫率が委託研究目標90%以上の値を示し、活性炭量を減少できる見通しが得られた。現在活性炭の性能が向上し、15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラントでは6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントに比べて活性炭量が減少している。

活性炭の寿命が長いほど補給量が少なく、取り扱いが容易になる。本テストプラントの3,500時間運転を通じ、活性炭の吸着性能は運転開始直後多少劣化した。その後の劣化はほとんど認められず、活性炭の寿命は相当長いものと推察できる。なお6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントの使用済活性炭の一部を15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラントに一部使用し、さらに長時間の寿命試験を行なうことになっている。

### 3.2 ガス温度

ガス温度が低いと、煙突の拡散力を低下させ局地汚染の問題を生ずるためガス温度は高いほうがよい。本法ではぬれた活性炭をボイラ排ガスの一部で乾燥させるため、ガス温度がいくぶん低下するが、脱硫装置全体としてはボイラ排ガス温度より10~20℃低下したにとどまり100℃以上を保持できた。

### 3.3 通風損失

通風損失は直接動力費に影響するため少ないことが望ましいが、装置、運転面の全体としての経済性に関連し一義的に決まらない。本プラントの通風損失はその大半が活性炭充てん塔の抵抗によるも

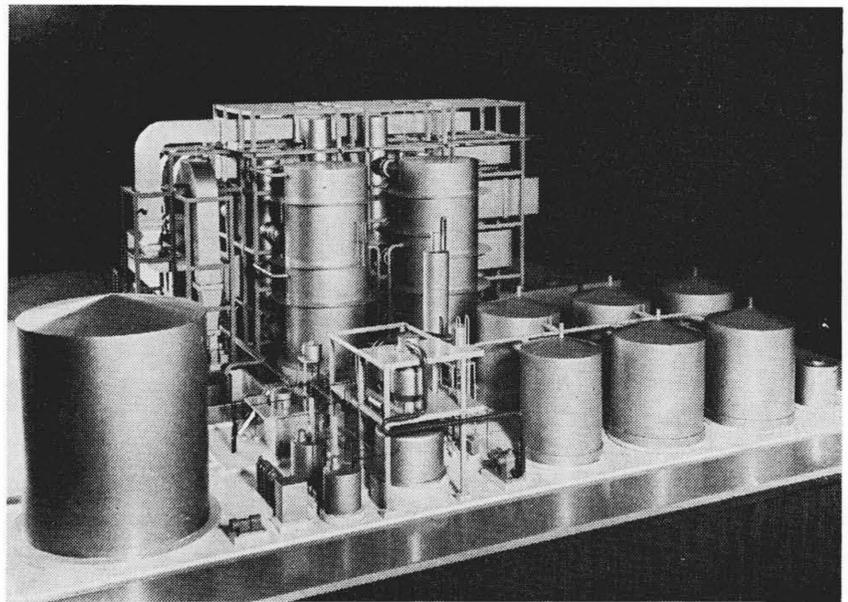


図4 15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラント

ので、6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントの場合、500~600 mmAqであった。今後高性能、大粒径活性炭の採用により300~400 mmAqに減少できる見通しが得られた。

活性炭充てん塔の通風損失はダストの混入により多少増加するが、水洗脱着時の水洗によってダストがほとんど除去され、通風損失は元通りに回復する。

### 3.4 水洗脱着

水洗脱着には活性炭から硫酸を抽出し、活性炭を再生浄化すること、およびできるだけ高濃度硫酸を取得することなどの機能が要求される。前者は脱硫率、活性炭の寿命、通風損失に影響し、後者は硫酸濃縮に要する燃料費に関連する。

本テストプラントにおいては各サイクルごとの脱硫率、通風損失の変化が見られなかったことから活性炭の再生浄化が順調に行なわれたものと推察できる。また水洗脱着時の希硫酸濃度は連続的に20%のものが得られた。

### 3.5 副生品

副生品として、20%硫酸濃度の洗浄水から65%濃度の薄硫酸を液中燃焼装置で濃縮生成した。薄硫酸の品質はJIS規格では硫酸分と不純物で規定しているが、生成薄硫酸はいずれもJIS規格内にはいっている。不純物の主成分はFe、Alでガス系から混入したものおよび活性炭灰分から溶出したものである。

## 4. 15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラント

6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントの試験により本プロセスの妥当性が確認され、実用性が見通しが一段と明るくなったが、実用機の容量はテストプラントより2けたも大きいため、スケールアップした装置による開発研究が必要である。このため大型プロジェクトの第2段階では15万 Nm<sup>3</sup>/h (55 MW 相当) パイロットプラントを43年10月までに作り、44年9月まで運転し、6,000 Nm<sup>3</sup>/h テストプラントでできなかったスケールアップに伴う諸問題およびボイラとの組合せ運転などについて検討し実用化に対処する予定になっている。検討項目には下記項目がある。

- (1) 大形化に伴う吸脱着条件などの設計上の問題
- (2) 大形化に伴う処理ガス量と脱硫装置の最適条件
- (3) 大形化に伴う強度、腐食、安全性などの検討
- (4) ボイラとの組合せによる安全かつ安定な運転法の検討
- (5) 活性炭の充てん法、寿命、最適容量
- (6) レイアウト、計装などの問題点
- (7) 経済性の追求

15万 Nm<sup>3</sup>/h パイロットプラントは現在予定どおり、43年10月

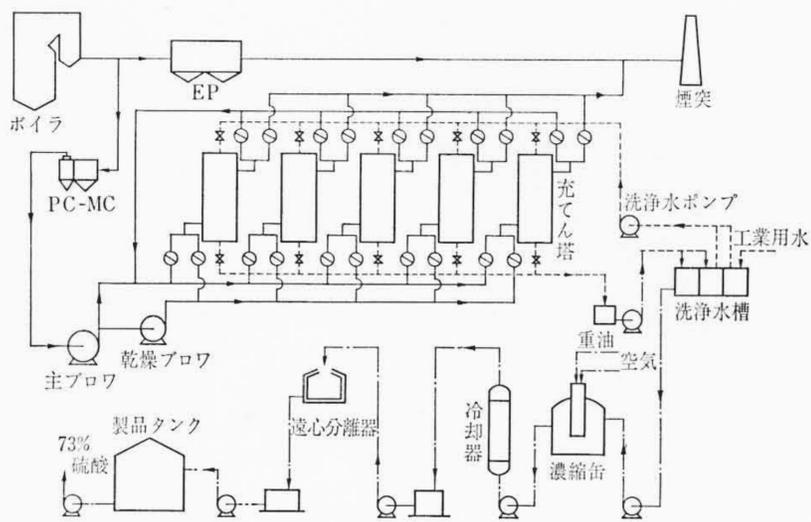


図5 15万Nm<sup>3</sup>/hパイロットプラントフローシート

に東京電力株式会社五井火力発電所6号機(350MW)わきに建設し、運転研究にはいつている。

パイロットプラントは次の機器から構成されている。

- (1) ガス系
  - 活性炭充てん塔
  - 集じん器
  - 主ブロワ
  - 乾燥ブロワ
- (2) 水洗系
  - 洗浄水槽
  - 洗浄水ポンプ
- (3) 硫酸濃縮系
  - 濃縮缶

遠心分離機  
洗浄塔

図5にパイロットプラントのフローシートを示す。試験用ボイラ排ガスをボイラ煙道のアンモニア注入前より取り出し、集じん器にて除じん後ブロワにて加圧し、活性炭充てん塔で脱硫したのち、ボイラ集じん器後の煙道(煙突入口)に戻す。

充てん塔は5塔あり、乾燥1塔、吸着3塔、水洗脱着1塔として使用される。活性炭は6,000Nm<sup>3</sup>/hテストプラントと同じ種類のもの3種類が使用され、水力輸送で均一に充てん塔へ充てんされる。

水洗脱着時の水洗は自動化され、シーケンシャルに洗浄水槽の切換、ポンプ操作を行なうよう計画されている。洗浄水槽出口の希硫酸濃度は約20%で、これを硫酸濃縮装置により濃縮し、濃度73%の薄硫酸として回収する。

### 5. 結 言

ボイラ排ガス脱硫を対象とした活性炭吸着法のプロセスおよび大型プロジェクトの第1段階としての6,000Nm<sup>3</sup>/hテストプラントの試験結果、第2段階としての15万Nm<sup>3</sup>/hパイロットプラントの概要について紹介した。

わが国の排ガス脱硫に関する研究は、燃料事情、社会環境などの特殊性からきわめて盛んで、世界的にみた場合ドイツと並んでトップレベルにあり、工業技術院の大型プロジェクト委託研究により脱硫技術はさらに大きく飛躍するものと思われる。本活性炭吸着法は排ガス脱硫に対し有力な方法であり、日立製作所は通産省工業技術院のご指導のもとに東京電力株式会社と共同で大型プロジェクト研究計画を強力に推進し、1日も早く本法を実用化し、公害対策の一助となるよう努力している。



## 新 案 の 紹 介



登録実用新案第824489号

丸子盛久

### 凍 結 真 空 乾 燥 用 乾 燥 皿

従来の乾燥皿では、乾燥後被乾燥物が乾燥皿に強く接着した場合(たとえば味噌の凍結乾燥など)、ハク離作業が繁雑でありかつ困難

である。

本考案は乾燥皿1内に適当な間隔をもってボルト3に固定されたかき取刃2を設け、ボルト3の先端に螺合(らごう)されたナット5によりかき取刃2をしゅう動させるようにしたもので、かき取刃2間およびかき取刃2上部に被乾燥物を充てんして乾燥を行ない、乾燥終了後ナット5を回動してかき取刃2を図示右方に移動させることにより、かき取刃2は乾燥皿1内をしゅう動し、乾燥皿1に接着した被乾燥物は簡単かつ容易にハク離される。(寺田)

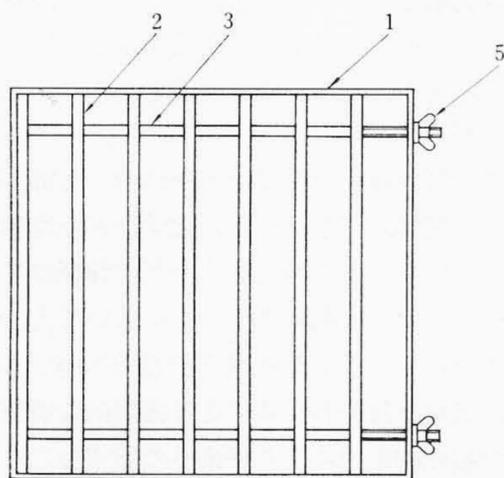


図 1

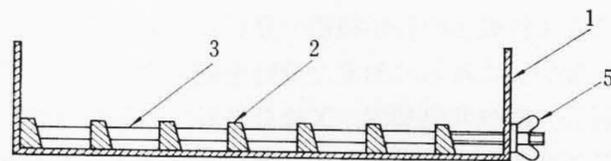


図 2