

火力発電所計算機制御の問題点

Problems of Computer Control for Thermal Power Station

広 吉 秀 高* 丸 山 英 久*
Hidetaka Hiroyoshi Hidehisa Maruyama

内 容 梗 概

火力発電所の計算機制御はアメリカにおいてはすでに実用の段階にはいっており、わが国でも最近急速に具体化の機運が高まり真剣な検討が行なわれている。本文においては、計画実施に当たり、計算機制御の種類とその役割、制御範囲とそれに要する投資とその効果、監視制御の方式、基礎となる諸自動制御装置、信頼性向上など問題点を説明し、あわせて火力発電所計算機制御の今後のありかたについて述べている。

1. 緒 言

最近、火力発電所の単機容量は飛躍的に増大し、その系統において占める比重が格段に大きくなる一方、機器としては強制貫流ボイラ、超臨界圧ボイラの実用化などにより、起動停止や負荷運転中の発電所制御はますます高級かつ複雑なものとなってきた。これに備えて制御装置にはより広範な自動化が採り入れられ、制御の集中化が強力に進められ、保安、保護装置の裏付けのもとに安全運転が行なわれるよう考慮が払われている。しかし通常起動停止時の機器の安全確保、また負荷運転中の効率の最高値維持のみのためにも監視を要する諸量の数は増大しているのに、さらにより高度な判断をより迅速に処理するためにはいままでの方式を踏襲していたのではいたずらに人手を増すだけで、効果のあがらないおそれがある。この重要な任務を困難な条件のもとで、適切かつ迅速に遂行するためには高度の能力を備えた計算機の導入にまつほかない。

最近の電子計装技術の飛躍的進歩を基として、電子計算機の発達と応用範囲の拡大は著しく、数年前より採用調整中であったアメリカでは昨秋ついに2、3の発電所において計算機制御による営業運転に成功し、稼働にはいったことが報ぜられている。

わが国でも近年採用に対する機運が高まり、データロガーより自動化に一步を進めたシーケンスモニタの段階を経て、計算機制御の実現も近い将来に期待しうるまでにいたっている。

計算機制御の具体化に当たっては、その種類と目的、範囲の決定とその効果、方式の選定、各部の装置など、特に発展途上にある新技術として慎重考慮すべき問題点が多々あるので、その要点を記して計画立案の資としたい。

2. 火力発電所の計算機制御

火力発電所に計算機制御（以下単に計算機制御とする）を採用するに当たって、その種類と規模の決定は対象となる発電所の運転条件や目的により根本的にその内容を異にしてくる。この技術が新しいもので、今後研究充実して行かなければならない面もあり、このことも採用に当たって考慮すべき要因となる。ここではまず計算機制御の内容について概説する。

2.1 計算機制御の種類

広い意味での計算機制御はその中に次に示すように種々の機能のものがある。

(1) スキャニング (Scanning)

測定点の高速走査監視。

(2) データロギング (Data Logging)

測定点の定時および異常時作表。積算、平均などの演算も行なう。

(3) パフォーマンス計算 (Performance Calculation)

発電所各部分の効率計算。

(4) デジタル表示

呼び出しに応じてその計測点の数値表示。

(5) トレンド記録 (Trend Recording)

呼び出しに応じてその計測点を連続記録。

(6) シーケンスモニタリング (Sequence Monitoring)

起動停止操作中の状態を監視し最適な操作を指示する。

(7) 自動起動停止

各部の状態を監視し、最も適正な順序と方法で自動操作し、発電所を起動停止させる。

(8) 効率制御 (Efficiency Control)

課せられた負荷のもとで、発電所効率が最高となるように各部を調整制御する。

以上のうち(1)～(5)までは従来データロガー(Data Logger)と呼ばれているものに含まれている機能である。上述の機能の組み合わせにより計算機制御が成立するのであるが、(8)の効率制御は効率の算出自体にいまだ不確定な要素が含まれていること、またどこを操作すれば効率向上に効果があるか、その関連はきわめて複雑で現状ではまず計算方式の確立が急務となっている。いずれにせよ新鋭発電所がますます高い効率をえてきている現状では、測定、計算、制御を総合して解決しなければならない面も多いため、まず着実に起動停止の自動化から進むべきであると考えらる。

2.2 起動停止シーケンスモニタリング

計算機による自動起動停止を行なう前の一段階として、シーケンスモニタリングの採用が考えられる。これは計算機が最適な運転操作手順を逐次表示し、それに従って運転員が操作を行なうものである。この採用により運転員の判断する要素が大幅に減少するところに特長がある。シーケンスモニタリングには次のような程度のものがある。

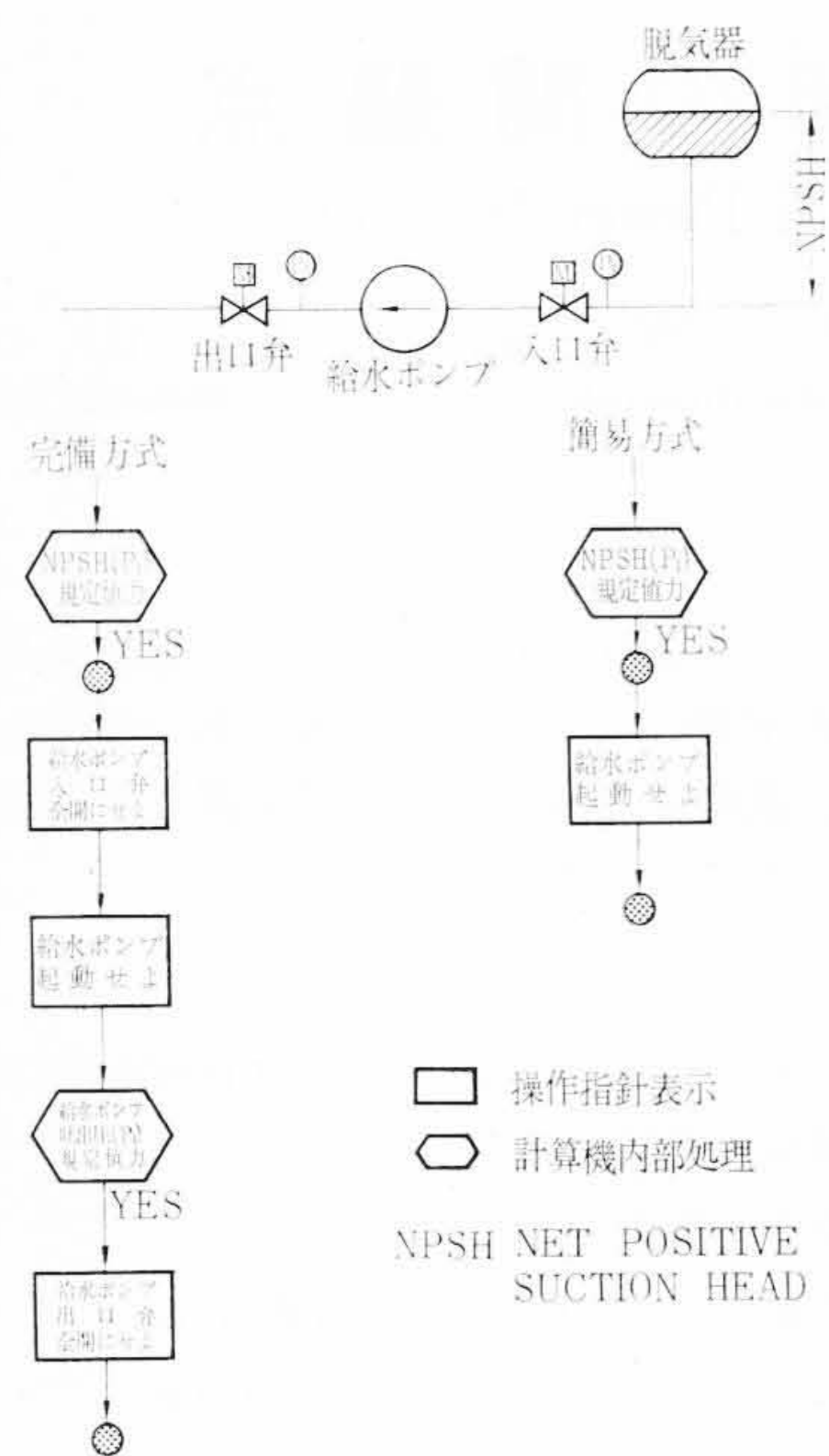
(1) 運転員が操作を行ってきた結果をチェックし、完全な操作が行なわれたことを確認し、次のステップに進んで良い旨を表示する。

(2) 次に行なうべき操作を大きくステップに分けて表示する(簡易方式)。

(3) 次に行なうべき操作を個々のものに分けて表示する(完備方式)。

上述(1)は運転員の操作監視的性格をもつものといえる。これに反して(2)、(3)は前進のためのシーケンスモニタリングで、その相違を第1図に示す。これで見られるように、完備方式では原則的になんら運転員の判断を必要とせず、これに操作端を結合すれば直ちに全自動操作になる。したがって計算機容量は全自動の場合とほとんど変わらないものが必要となる。経済的なものと言う意味か

* 日立製作所国分工場



第1図 シーケンスモニタの方式

らシーケンスモニタリングを採用するときには当然のことながら簡易方式によることになる。ただしこのとき事故時の操作指示はある程度細かく表示させる方法を採用したほうが効果は大きい。

2.3 計算機制御による自動起動停止

火力発電所を起動停止させる場合は水力発電所と異なり、複雑な判断と多くの操作が必要である。発電所を構成するボイラ、タービン発電機と監視すべき計測点は多数あり、現在の進歩した中央制御方式をもってしても、少数の運転員ではその能力の限界に達しているといえる。火力発電所の起動は通常、その時点におけるタービン各部のメタル温度を基準として、それに合わせるためボイラ発生蒸気温度を調整、メタル温度と蒸気温度の差が一定の範囲にはいつてのちはじめタービンに通汽して、昇速、併入し、負荷をとってゆくが、昇速だけをみて、メタル温度の上昇率タービンケーシングの伸び、伸差などを監視し、これらを許容値内に保つよう慎重に操作しなければならない。これを含めて発電所全体の総合した状態にマッチした適切な操作を行なっていくには、熟練した運転員の判断を必要とする。まして急速起動または事故発生時などにおいては、短時間内に迅速な処置が必須で、運転員の負担はきわめて大きなものとなる。

ここで計算機が有する能力を見ると、予知する力には欠けるが、与えられた記憶の範囲内で、敏速に判断し、正確な操作指令を発することができる点ではすぐれている。したがって計算機に正確な記憶（操作指令を発するに必要な判断をするための資料）を与えることにより、その操作指令に忠実な操作がなされる限り、運転員の個人差あるいは不適切な処置をなくすることができる。

タービン通汽後の操作について見れば、従来より昇速過程の回転数上昇率はタービンの停止期間（またはメタル温度）により機械的に4段階に分けているが、計算機に一定の数式を記憶させておくことにより、目的とするタービンメタル温度を監視して、一定の範囲内にはいるように連続的に昇速段階を選ぶことができる。

停止については、停止するための原因により種々の方法があるが、その原因の組み合わせにより適切な停止方法を選択し、事後の処置を円滑に行なうことのできるような方法を採用。

3. 計算機制御の実施範囲

計算機制御の適用に当たっては、実施する範囲が問題になる。このことは計算機制御の具体的目的により異なってくる。ここでは計算機制御に何を期待するか、それに応じて実施する範囲をいかに選ぶかについて述べる。

3.1 計算機制御の効果

計算機制御実施により期待できる効果は内外の文献に多数紹介されているが、おもなものをあげれば次のようである。

- (1) 適切な判断による安全の確保
- (2) 適正な運転による事故の減少
- (3) 効率向上による運転費の節減
- (4) 運転人員の削減

発電所運転操作中における事故発生の可能性を従来の経験から見ると、起動停止時に多く発生しており、いったん通常運転にはいれば発生ひん度が減少するのが通例である。たとえばボイラの爆発はページの不完全により生じ、バーナ点火が完了すればその後はほとんど問題にならない。またタービンについても通汽時のメタル～蒸気温度のマッチングの適否が事故の要因となる。これを一言でもってすれば、ボイラ、タービンなど主要機器に最初の状態変化を与えるときに重要であり、この部分に計算機制御を適用することに大きい効果が期待できる。

一方、最近の火力発電所、特に大容量火力になれば、非常に起動停止の回数が少なく、起動停止の自動化の妥当性を疑問視するむきもあるが、起動停止回数が少なければ少ないほど、運転員が種々の事態にどのように対処するか習熟する機会が得られない。万一異常状態が発生した場合に操作を誤り、ひいては重大事故に波及することもありうるため、十分計算機制御実施の意味があると考えられる。

適正運転により事故減少の効果は次のとおりである。まず常時スキヤニングを行なっているため、事故が早期に発見でき他に波及することが防止でき、直接かかる補修費を節減できること、および軽微な事故のままで押えることができるため、事故停止のひん度が少なくなり発電所利用率の向上が期待できる。現在発電所の各機器の信頼度はかなり向上し、事故停止することが少ない状況であるため、前者を主体に評価するのが適切であると考えられる。

効率上昇は算出結果を運転員が判定することにより、適正でかつ機器の許す範囲内で利用率を高め、総合的な効率向上に期待すべきと考える。たとえば補機運転台数を負荷に応じて選択し、絶えず最も高い効率付近で運転することを意味する。

また運転人員の削減とともに、データロガーとしての機能を有していることから、通常の日報作成のような単純業務から運転員を解放することおよび運転操作の熟練者による高度の判断を必要としないことも主たる効果と言うことができる。

このほか以上述べた効果と設備との関連を検討することも必要である。設備に関して試算した一例を第2図に示す。この図は全操作過程をいくつかのブロックに分けて、その組み合わせにより設備費がどの程度変わるかを表わしたものである。この図から計算機制御の設備費の中には相当部分、固定費的性格のものが存在していることがわかる。

効果についての評価の仕方はあくまでも実際に適用する発電所に合わせなければならないことと、安全性の向上という無形の効果を適正に評価することが重要である。

3.2 計算機制御の実施範囲

計算機制御により発電所の自動化を計画する場合、いかなる範囲をこれでカバーするかの問題がある。発電所運転操作のすべてを自動化することは終局的な理想ではあるが、計算機容量は過大とな

制御範囲による設備の変動

	起 動 操 作					停 止 操 作	計算機制御 設 備 価 格 %
	パージ	点火	通汽	併入	定格負荷		
1 案							72
2 案							77
3 案							69
4 案							76
5 案							73
6 案							92
7 案							100

全自動起動を前提とした場合の各段階設備額

1 次							86
2 次							4
3 次							10

第2図 制御範囲と設備価格

り、自動化する操作端（通常は手動弁であるものを電動弁化することなど）の数は膨大なものとなり、経済的に不利となってくる。そこで自動化をどの範囲に選ぶか、一つの考え方を示し説明する。

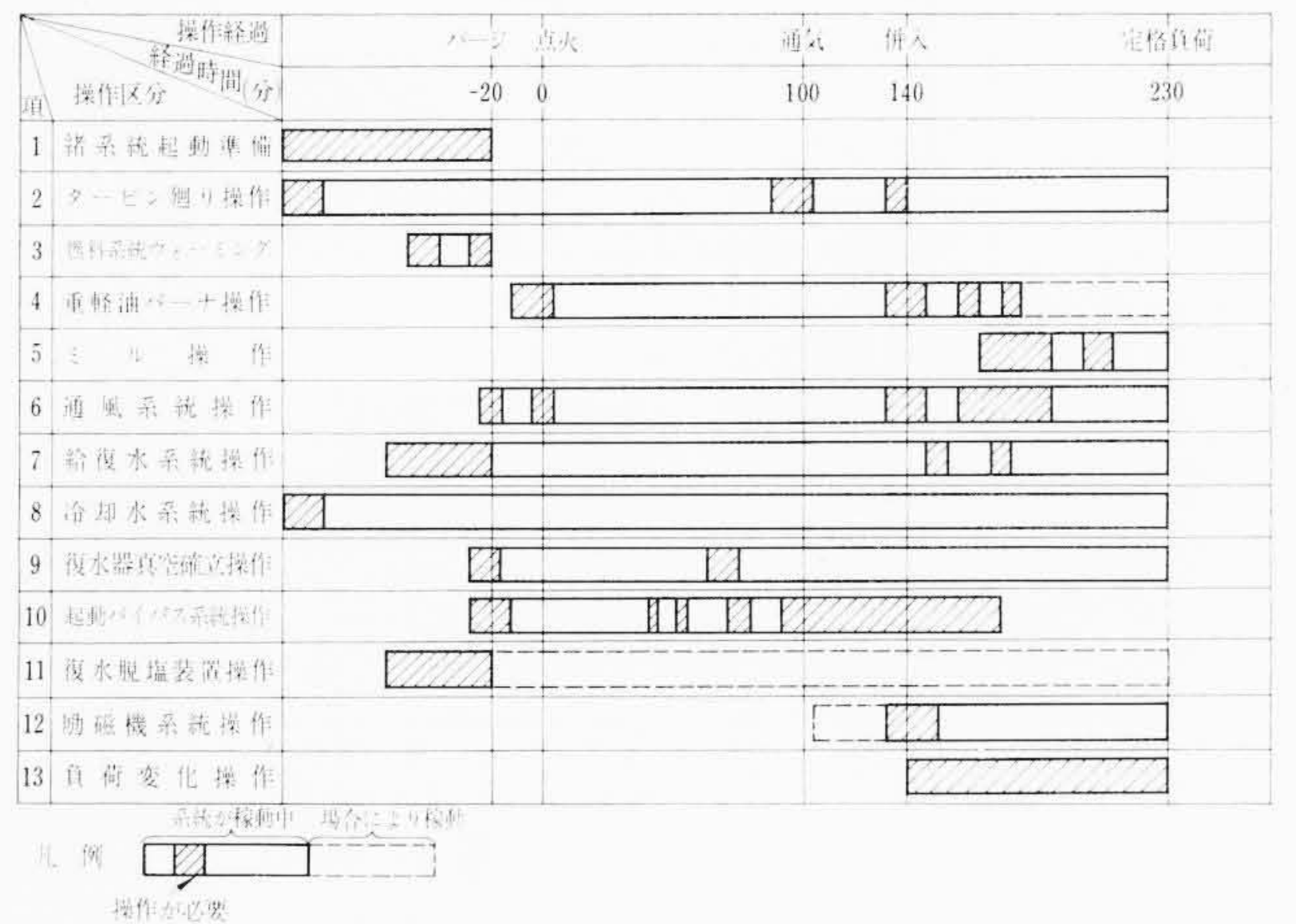
発電所運転操作で計算機制御に適した機能は次のようなものと考えられる。

- (1) 運転プログラム進行中のある時点で必ず実行する必要がある操作。すなわち操作の順序を時間的に制約されているもの。
- (2) 短時間に多くの計器を監視し、それを判断して操作に反映しなければならないもの。
- (3) 時間的に非常に緩慢な操作(忘れることがありうる)。たとえば通汽までの燃焼率の調整。
- (4) 単純な操作であるが繰り返しが多いもの。タービントリップテストのようなもの。
- (5) 主要な機器に最初の状態変化を与える操作。たとえば点火、通汽など。

逆に範囲に含めなくてもさほど支障がないと考えられるものを挙げれば、

- (6) 他の操作とあまり関連がなく、しかもある時点までに完了していれば良い操作（計算機がある時点でチェックし、不完全な部分を運転員に指示すれば、短時間に完了させることのできるもの）。
- (7) 前後の時間に制約されている操作でも、その時点で注意を促せば運転員の操作で容易に完了させることができ、しかもそれが完了しなくてもプログラムは重大な支障なく進行できるもの。ということができる。

具体的に範囲を決定する手段として第3図について説明する。この図は強制貫流ボイラを使用した発電所の起動操作を時間的に表わしたものの概要である。横軸は起動操作の時間経過を示し、縦方向は所内各系統操作の分類である。この図全体を縦方向に眺めて、操作部分の重なりが多いほど、短時間に多くの操作が集中していることを意味している。たとえば併入直前の状態を見ると、タービン関係操作、バーナ操作(バーナ追加)、通風系統操作、起動バイパス操作、発電機励磁操作が集中しており、また発電機のような主要機器に最初の状態変化を与える点であることや、さらに操作する各系統の重要度を考えれば計算機制御適用範囲に適している部分ということができる。



第3図 操作経過の一例

一方起動準備過程について見れば、起動バイパス系統その他二、三のものを除いてパージ開始前までに完了していればよいことから、パージを開始する時点で状態のチェックをするのみで、しいて適用する必要はないと考える。

このような図をさらに詳細作成することにより、真に必要なものを見出し、経済的な計算機制御を計画することができる。なお自動操作に前述のシーケンスモニタリングを一部併用することも興味ある検討事項である。

4. 計算機制御系の構成

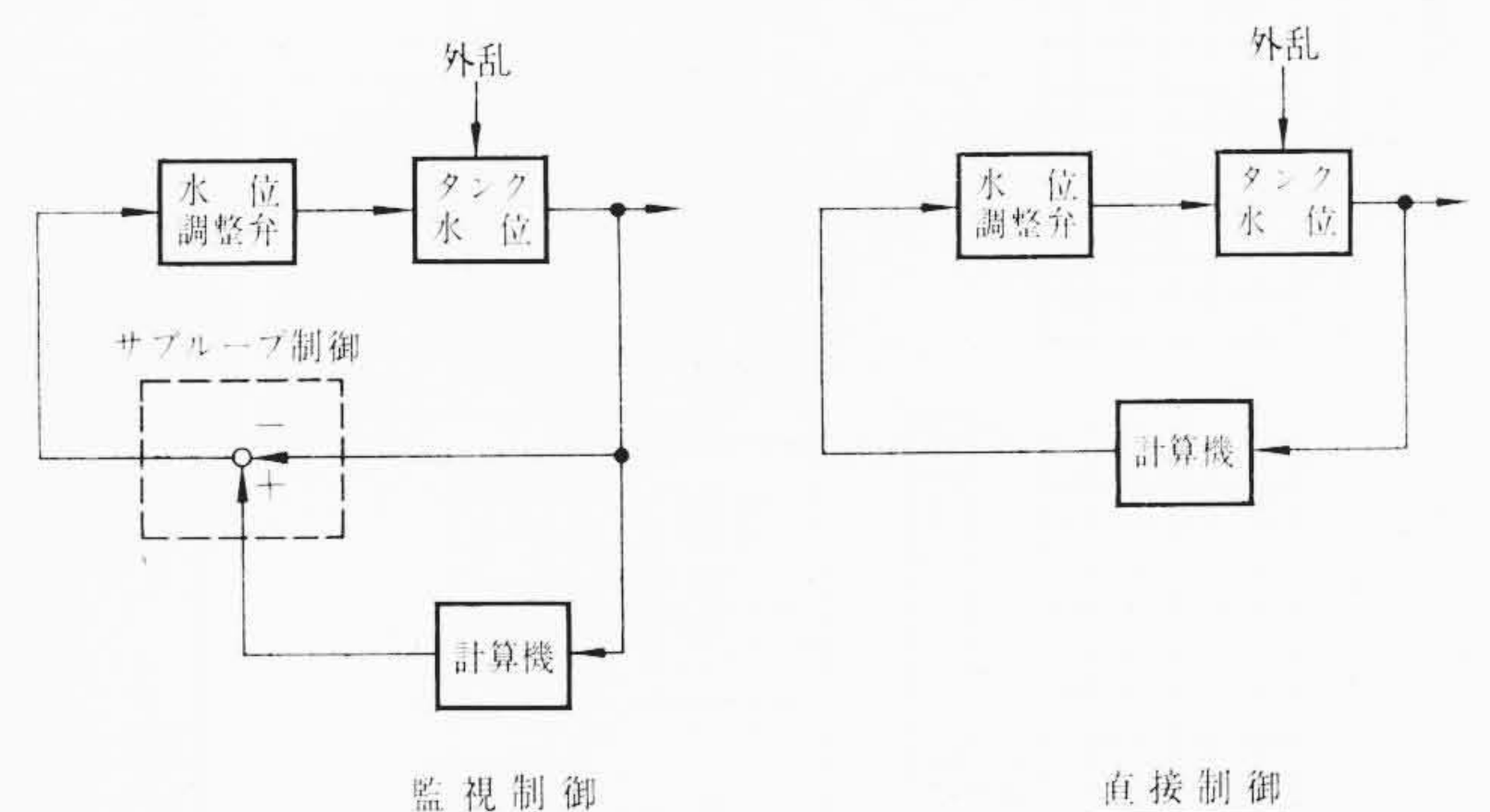
計算機を発電所と結合させ計算機制御系を構成させる場合、系統をいかに形成させるかは基本的な問題である。

4.1 監視制御と直接制御

制御系を計画する場合、監視制御か直接制御かが従来しばしば論議されている。この両者の相違を第4図に示す。この図で明白のように監視制御においては、発電所を構成する各部にそれぞれサブグループ制御系を有し、その制御結果を計算機が監視し、適正なものとなるようサブグループ制御系の設定値を与えるものである。

一方直接制御では、計算機が制御ループの中にはいり、計算機の中で制御演算を行なって直接計算機が操作端を操作するものである。

両者の比較を第1表により説明する。この表に見られるとおり、



第4図 制御ブロック図

第1表 制御比較表

項 目	監視制御	直接制御	備 考
制 御 精 度	低 い	高 い	監視制御でも実用上問題なし 容量大となれば信頼性は下る
計 算 機 容 量	小 さ い	大 き い	
最 適 制 御 採 用 の 可 否	困 難	可 能	
サブグループ制御系の要否	必 要	不 要	
計算機事故時の運転継続 制御系としての信頼度	可 能 高 い	困 難 低 い	

以上を基にして必要最小限の計器を一例として第2表に示す。ボイラ関係は形式により計測点も大幅に異なるので、この表ではタービンについてのみ記してある。

計器配置を行なう場合、計算機装置に含まれる傾向記録計の活用がある。この記録計は任意の呼び出しに応じてその計測点を連続記録するもので、通常2、3ペン式記録計2台程度を設けている。これを計算機事故の場合、運転継続に必要な計測点に自動切換を行なえば非常に有効なものとなる。

計算制御を行なったときも設置しておく必要がある計器としてまずとりあげるべきものはタービン監視計器、特にこの記録計である。この計器はデリケートな熱特性を有するタービン各所の機械的狀態を記録し、運転操作に役だつばかりでなく、異常状態が発生したとき、その傾向を見て、そのまま運転を継続するか、直ちに停止する必要があるかを判断するため、また事故発生後に原因解析のための資料を得るためにも必要である。

計算機制御を前提とした中央制御盤の一例を第5図に示す。

5. サブルーブ制御装置

計算機制御、特に監視制御を行なうために各種のサブグループ制御装置が必要となる。すでに従来から単独に使用することを目的として開発されているものもある。ここでその概要と問題点について述べる。

5.1 サブルーブ制御装置の種類

現在までに開発されているものに次のものがある。

(1) タービン広範囲速度調整装置

タービン通汽の段階より、従来の機械ガバナの制御範囲に達するまでのタービン速度を制御するものである。この装置は回転数上昇率および目標回転数の設定部を備え、それによって速度制御を行なう。第6図はこの装置を計算機制御に用いたブロック図で計算機により設定部が操作される。

(2) 自動同期装置

各水力発電所で採用されているものと同種のもので、系統との同期併列操作を行なうものである。

(3) 自動バーナ装置

バーナの抜き差し、点火を自動的に操作するもので、フレーム検出回路とインターロックが形成されている。

(4) 自動負荷調整装置

設定された負荷増減率に従って、与えられた目標値までタービン負荷を自動的に制御し維持する。

(5) 零速度検出器

ターニング運転のインターロックに使用するもので、タービンの停止に近い状態を検出する。

(6) ボイラ自動制御装置

計算機制御適用を容易とするためには、新しい電気式制御装置が望ましい。

(7) そのほか計算機制御の範囲に応じて各種の制御装置、たとえば軸受冷却水温度制御装置、水素ガス温度制御装置などが必要となる。

5.2 サブルーブ制御装置の問題点

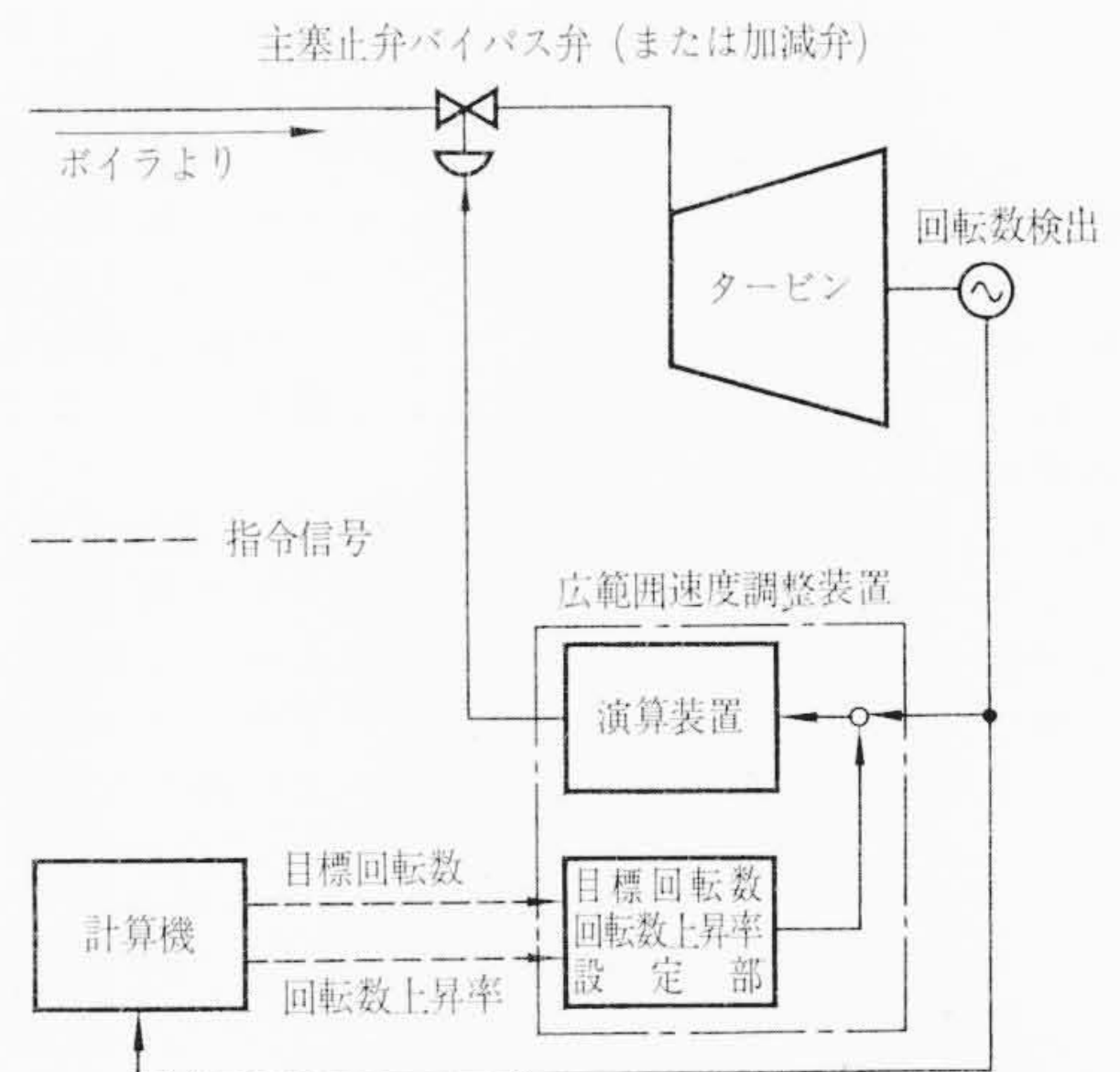
サブグループ制御装置はその設置する目的から次のような特性を持たせなければならない。

(1) 高い信頼性

計算機よりの設定指令に忠実に動作し、かつ計算機事故の場合にもそのままの運転状態を継続するため、計算機より一段高い信頼性を必要とする。

第2表 中央制御用計器(タービン関係)

計 測 点	中央室計器	
	指 示 計	記 録 計
タービン入口蒸気圧力	○	
タービン入口蒸気温度	○	
加減弁蒸気室圧力	○	
加減弁蒸気室内面温度		○
加減弁蒸気室外面温度		○
高圧タービン第1段落圧力	○	
高圧タービン第1段落内面温度		○
高圧タービン第1段落外面温度		○
中圧タービン蒸気室圧力	○	
復水器真空	○	
復水器水位	○	
偏振		○
回転数差	○	○
伸 び 伸		○



第6図 計算機によるタービン速度調整

(2) 設定部に対する考慮

計算機からの設定信号は間欠的に与えられるのが通常であるため、設定信号の保持回路を持たせなければならない。計算機事故により信号が途絶した場合を考慮すれば当然必要なことである。

(3) 計算機との結合信号

現在の制御装置はそのほとんどがアナログ信号によりループを形成している。一方計算機はデジタル量で内部処理を行なっているため、どちらかに変換装置を設けて結合する必要がある。計算機装置側に変換装置を内蔵させた場合のほうが処理は簡単で、精度の高いものが得られるため得策と考える。

(4) 電気式ボイラ自動制御装置

ボイラ自動制御装置には従来、空気圧を伝送信号として使用したものが多く採用されているが、計算機との結合を考えれば電気式のほうが多くの利点をもっている。空気圧式を採用して計算機制御を行なうことも可能であり、現にアメリカにおいてはこれを用いて計算機制御を実施している発電所もあるが、計算機入力に変換するための空電変換器を多数必要とし、経済性、信頼度の面で不利である。電気式も最近では性能が安定し、なんら使用上の問題もなくなっている。電気式の伝送信号には直流を使用したほうが計算機との結合上便利である。電気式を採用するに当たって、特に電源の停電対策に十分意を用いる必要があることを付記しておく。

6. 結 言

わが国においては最近ようやくデータロガーの域を脱し、計算機制御の段階にはいらんとしている。今後これを計画するにあたっては、なにぶん未経験の分野でもあるので、十分の慎重さで臨む必要がある。アメリカの例を見るに、一挙に全範囲を完全に自動化する場合には成功までかなりの長年月を要している。したがって計画するに際しては、まずシーケンスモニタリングにより問題点を抽出

して、解決をはかったのち自動化に進むのも一法であり、また部分的自動化の積み重ねから全範囲自動化に進むなど、種々方法が考えられるが、本稿で述べた諸点について留意されることが望ましい。

ここでは現在までわれわれが実際計画し、当面した問題について述べたものであるが、範囲が非常に広く、紙上にすべてを尽くし得なかったうらみがあるが、幾分なりとも計画の参考に供することができれば幸いである。



特 許 の 紹 介



特許第409421号

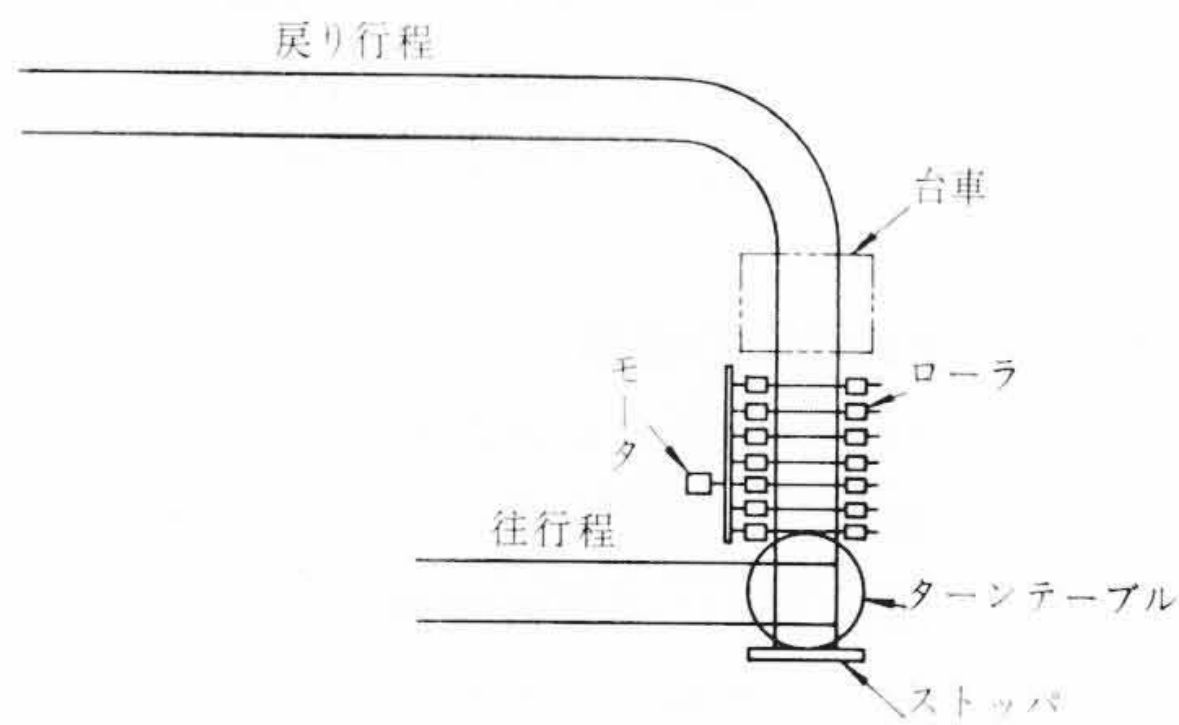
中 村 昌 夫

トランスファーマシンにおける戻り行程走行速度制御装置

トランスファーマシンにおいては、加工完了後のワークを積載したワークテーブルが戻り、行程を自力で走行した場合にワークテーブルの走行による慣性力が大きいときには、ワークテーブルは、スタート位置を通過して地上に落下転倒し、せっかく加工したワークを破損することがある。またワークテーブルの走行による慣性力が小さいときには、ワークテーブルは、スタート位置に達する以前に停止するため、ワークテーブルをスタート位置まで人力によって走行させる必要がある。

本発明は、これらの問題を一挙に解決するために発明したもので、図示のごとくスタート位置にあるターンテーブルの前方に、常に一定周速度で回転する数個のローラを戻り軌条にそって配置し、ワークテーブルがローラに接触したときに、ワークテーブルの走行速度を減速あるいは増速させて、ターンテーブル上に達したときにスト

ップに当って自動的に停止するようにしたものである。



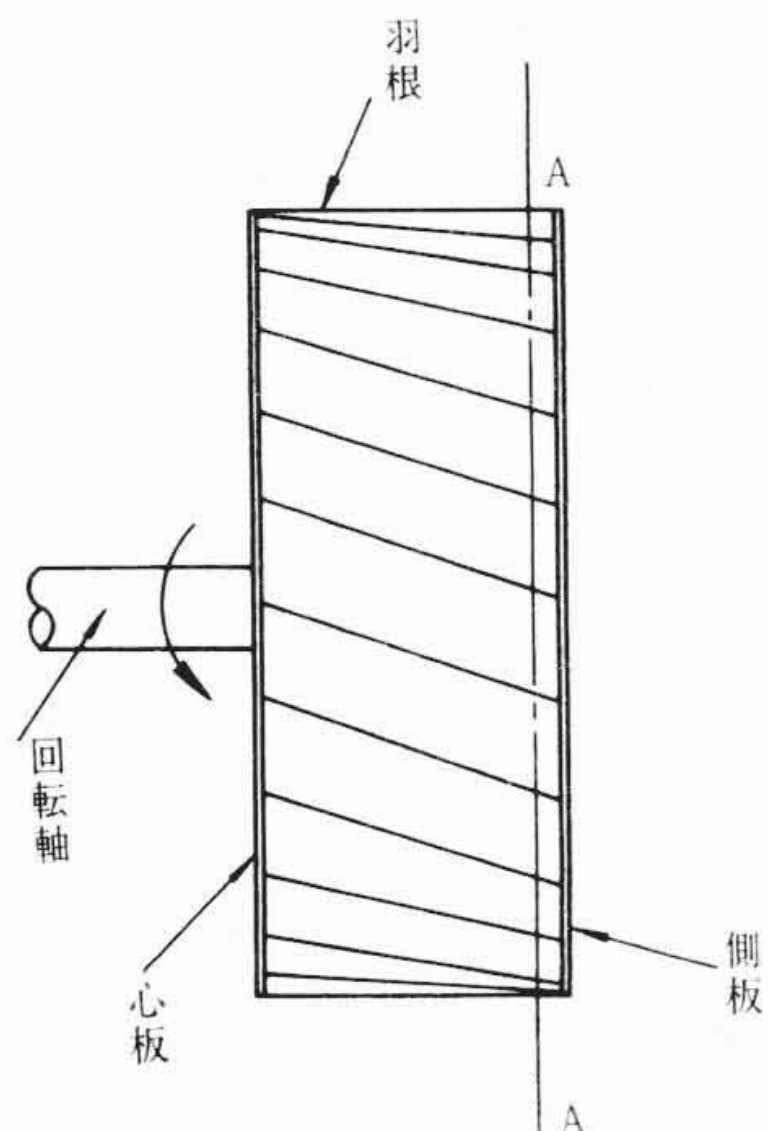
特許第410886号

堀 栄 一・永 島 敏 雄

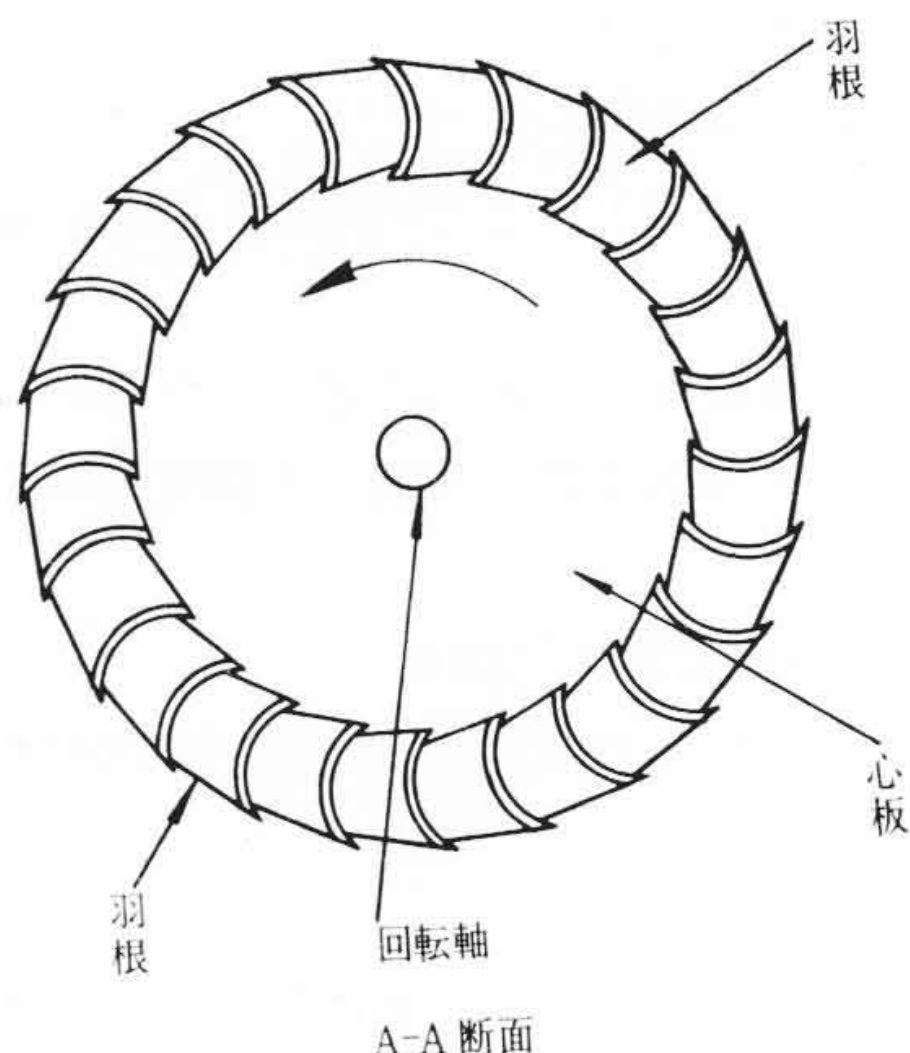
多 翼 型 送 風 機

従来の多翼型送風機においては心板と、側板との間の周辺部に円弧状の様な断面を有する羽根を、回転軸と平行に数個取付けた羽根車を使用されている。しかるに、このような羽根車は、気流の相対速度と、羽根車の円周方向の速度とのなす角が、羽根の入口角に比べて心板側では大きく、側板側では小さくなるので、気流は心板側では羽根の背面に当り、側板側では羽根の前面に当りながら流入することとなり、送風能率を低下することになる。

そこで本発明は、図示のごとく、心板および側板間の、周辺部に適当な円周方向の間隔を保って羽根を取付けるとともに、側板側の羽根の取付位置を心板側に対して、回転方向に向って適宜角度を進ませるようにしたものである。本発明によれば、羽根の入口角を気流の入口角の変化に対応させて、羽根の前縁のいずれの点においても、無衝突的に気流を流入させることができるので、従来に比較して、送風能率を著しく高めることができる効果がある。



第1図



第2図