

高効率運転を実現する地域冷暖房用運転支援システム

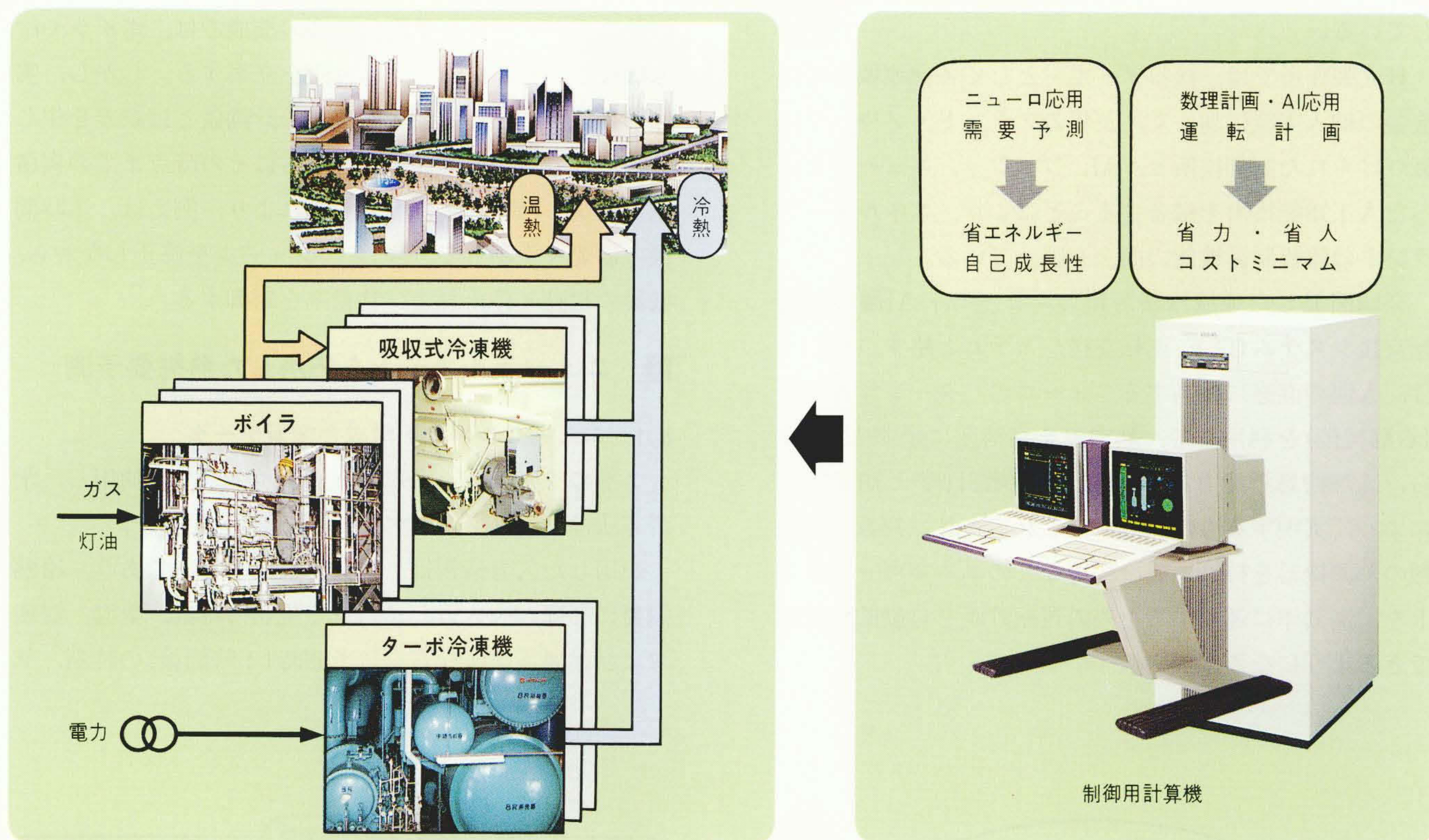
Control and Operation Guidance System for District Heating and Cooling Plant

下田 誠* Makoto Shimoda

山田昭彦* Akihiro Yamada

中原正二** Masaji Nakahara

谷本浩幸*** Hiroyuki Tanimoto



地域冷暖房プラント用運転支援システムの概要
するための運転支援システムが重要である。

地域冷暖房プラントでは、冷温熱需要を高精度で予測し、各種熱源機器を高効率で運転

大都市では、空調用熱エネルギーを供給する地域冷暖房プラントの役割が重要になってきており、熱需要も年々増加している。しかし、熱需要は温度、湿度などの気象情報に左右されて予測することが難しく、また、熱エネルギーを生成する熱源機器構成が複雑という特徴がある。このようなプラントを高効率で運転するには、熟練運転員の経験と直感による需要の予測で最適な運転計画を決定していた。そこで、同様な機能をニューロ・AIの応用によって実

現させ、運転員の負荷軽減と省エネルギーを図るため、需要予測にニューロ応用手法を、高効率な運転に数理計画法と知識処理の融合した手法をそれぞれ用いた地域冷暖房プラント用運転支援システムを開発した。このシステムは信頼性・応答性が要求されるため、制御用計算機で構成した。これにより、エネルギー関連機器の高効率な運転計画を自動的に立案でき、運転員の負荷軽減と省エネルギーを達成できる。

* 日立製作所 日立研究所

** 日立製作所 大みか工場

*** 日立製作所 システム事業部

1 はじめに

近年、大気汚染やヒートアイランド化現象などの都市環境問題が深刻化する一方で、アメニティの向上を求めて空調用熱エネルギーの需要が急増しつつある。このため、熱エネルギーを集中的に発生させて周辺地域に供給することができる地域冷暖房プラントの導入が活発化¹⁾している。

日立製作所では、機器メーカーとして各種地域冷暖房機器の納入実績に加えて、長年のプラント・ノウハウに裏づけられた制御技術と、AI、ファジィ、ニューロといった人工知能技術を融合することにより、エネルギープラントの監視制御機能の向上を図っている。

今回開発した地域冷暖房用のニューロ・AI融合形運転支援システム(以下、運転支援システムと略す。)(図1)は、人間の直感に相当するニューロのパターン学習能力(右脳機能)を利用して、熱需要を高精度に予測²⁾しながら、論理的思考能力(左脳機能)を数理計画³⁾と知識処理によって実現するものである。これにより、複数、多種類の熱源機器を持つ地域冷暖房などのエネルギープラントを、高効率に運用するための運転計画を自動的に生成できるようになる。

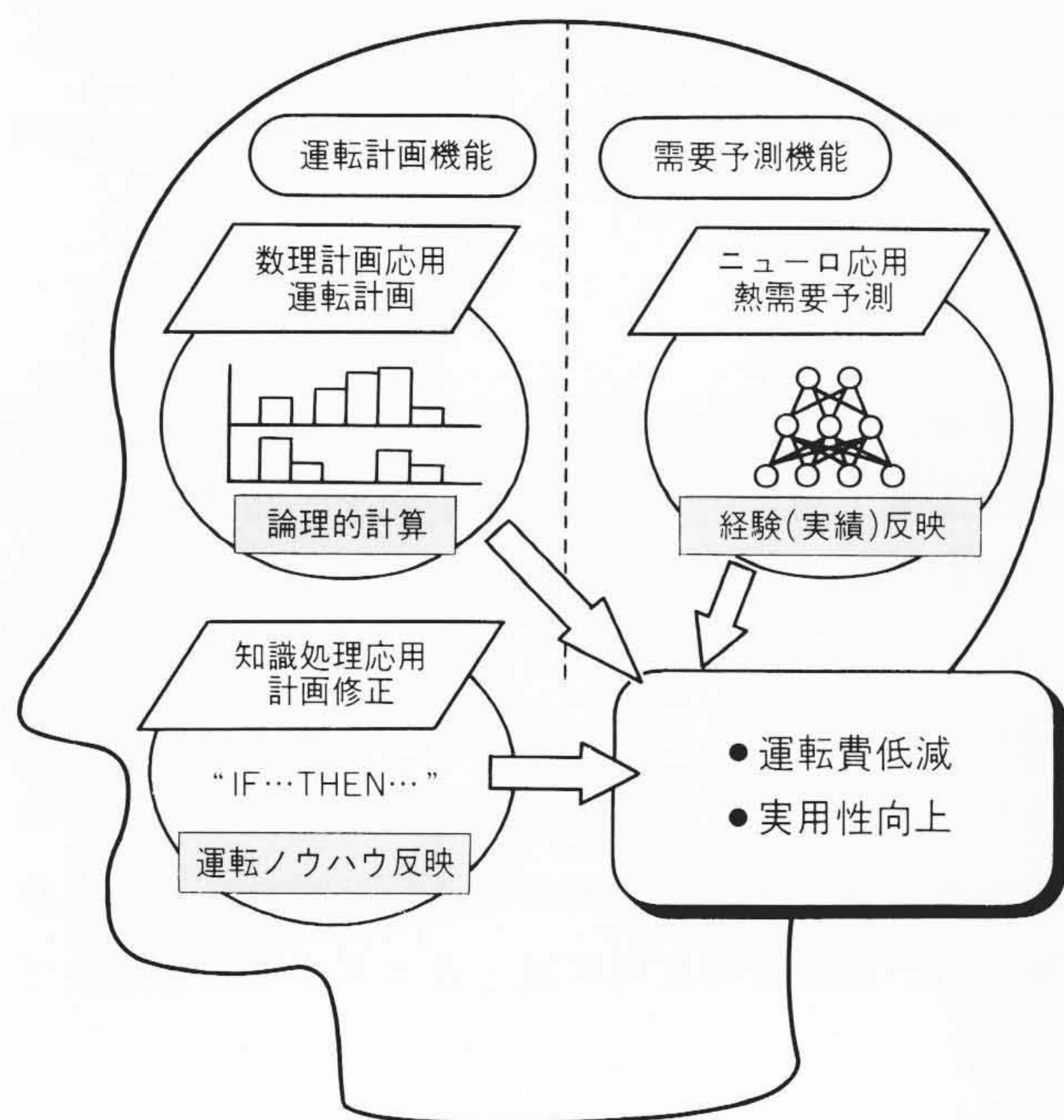


図1 運転支援システムのコンセプト 脳の右脳機能と左脳機能を、アルゴリズム上で実現したニューロ・AI融合形運転支援システムを示す。

ここでは、運転支援システムの概要とシミュレーション例について述べる。

2 運転支援システムの概要

運転支援システムは図2に示すように、(1)需要予測機能、(2)運転計画機能、(3)制御機能の3機能から成る。このうち(1)の機能の中で翌日需要予測機能では、翌日1日の熱需要パターンを予測し、(2)の機能では、ボイラや冷凍機などの熱源機器の運転計画を立案する。しかし、実際の需要値と翌日需要予測機能の計画値とは誤差を生じる。そこで、(1)の機能では、さらにその時点までの実績値を反映した時間単位需要予測により、例えば、1時間後の需要を予測して、運転スケジュールを修正しながら、機器の起動・停止および負荷率を制御する。

3 ニューラルネットを応用した熱需要予測

3.1 ニューラルネット構成と学習データ

3層のラメルハート形ニューラルネットを使用し、学習方法はバックプロパゲーション法⁴⁾を用いた。

使用した入力情報は、一般的に入手可能であり、冷熱需要に影響が大きいと思われる現在の時刻、気温、湿度および需要実績値ならびに予測時(1時間後)の時刻、気

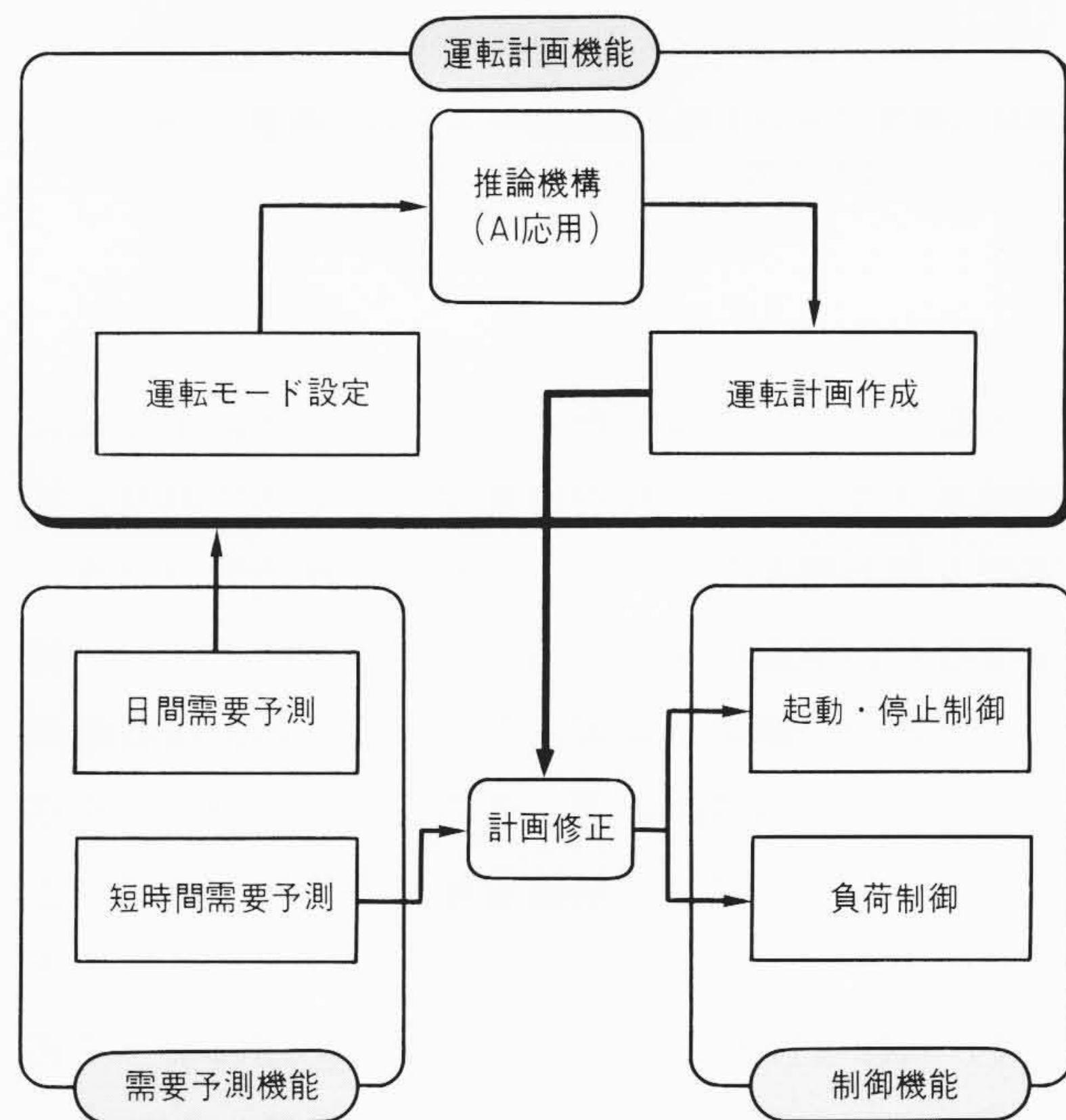


図2 運転支援システムの概要 ニューロ応用で予測した需要を満足するコストミニマムな運転計画を、AI手法で実用的に修正する。

温および湿度を採用した。予測値は、1時間後の冷熱需要値である。

学習および予測に用いたデータは、連続した3日間分のデータを1セットとして、学習には前2日分のデータを使用し、翌日の需要値を予測した。

3.2 予測結果の比較検討

結果の一例として、8月の冷熱予測結果を図3に示す。冷熱需要の実績値は11時から18時までほぼ一定値であるのに対して、2日分のデータから得られた重回帰分析の結果(重回帰1)はかなり過大な予測値を示しており、平均誤差も非常に大きい。これに対してニューラルネットでは、重回帰分析結果(重回帰1)の予測平均誤差18.9%に比べると予測誤差は平均8.4%とかなり小さい。つまり、同じ2日分のデータで学習しても、ニューラルネットが重回帰分析よりも入力情報に対する冷熱需要値の変化を適切に予測する能力がある。

3.3 ニューラルネット応用需要予測の一例⁵⁾

さらにニューラルネットの構造や入出力項目をくふうした結果、夏季の最大需要時だけでなく、熱需要が変動する春季の冷熱需要にもよく追従していることがわかる(図4参照)。

4 AI応用運転計画

4.1 運転計画方式の特徴と課題

従来の運転方式として、(1)あらかじめ機器の起動順序を設定する優先順位法、(2)数学的に組み合わせて最適解を求める数理計画法、などがある。(1)では部分負荷運転

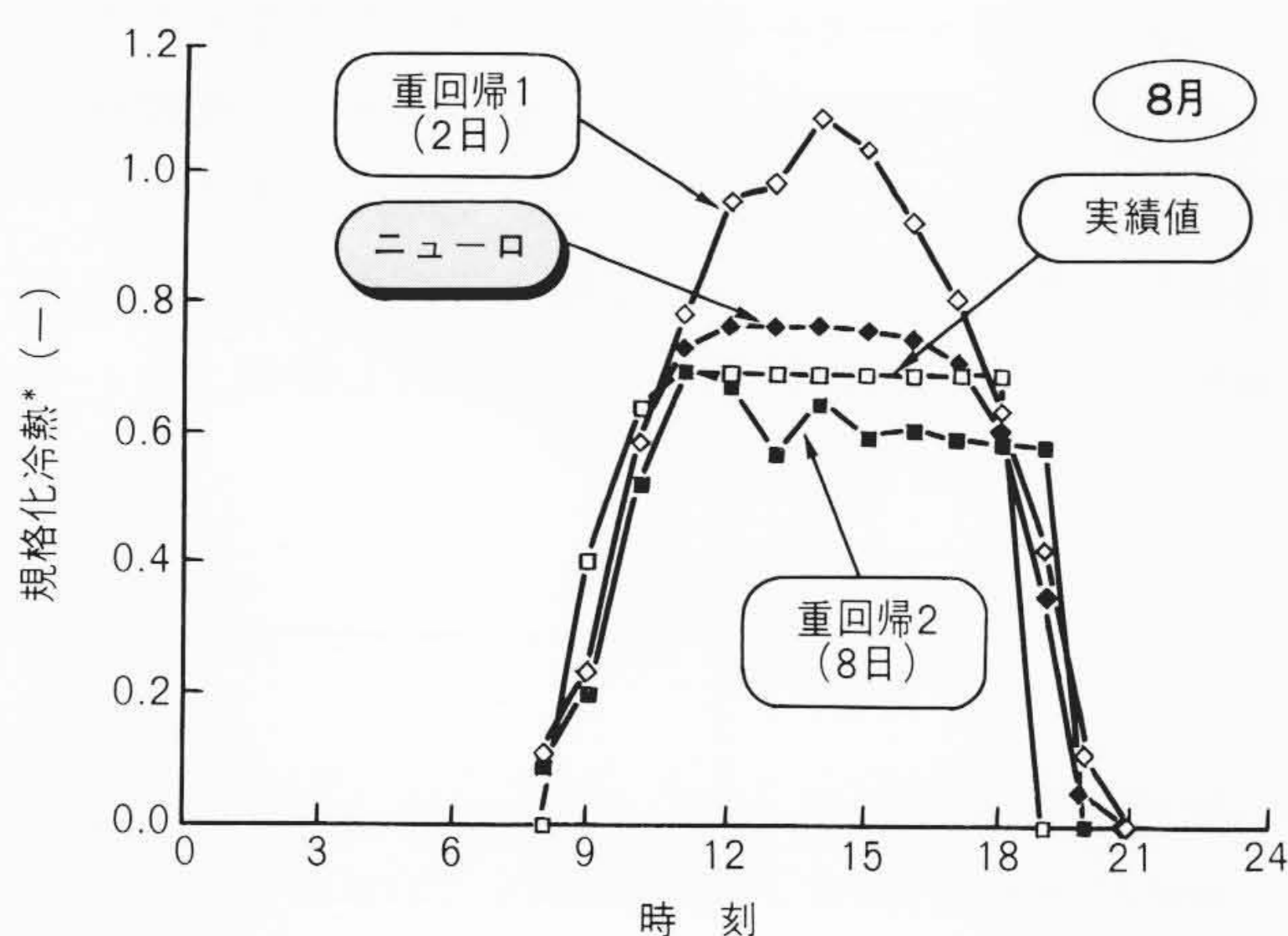
時の効率低下が考慮されてなく、(2)は需要に応じた効率を重視する結果、機器の起動・停止回数が増加する。熱源機器は一般に起動から定格出力が得られるまでの時間が長く、起動・停止に伴う熱応力が機器の寿命に影響するため、起動・停止回数の増加を極力少なくする必要がある。また、従来法では機器の起動特性や停止特性は考慮されていない。

4.2 提案方式の特長とアルゴリズム

提案方式では、(1)運転費が安く、(2)機器の起動・停止回数が少なく、かつ(3)起動・停止時の動特性も考慮した実用的な運転計画を作成するために、時刻ごとの最適解が得られる数理計画法と、数式表現がしにくい運転ノウハウを利用できるAI手法を融合させた。まず、数理計画法によって運転費が最小となるように運転計画を作成し、その妥当性を知識ベース中の運転平滑化ルール(図5参照)によって判定する。妥当でなければ起動・停止に関する制約条件を付加する。次に起動・停止時の動特性も考慮してさらに制約条件を変更し、再度、数理計画法によって運転計画を修正する。

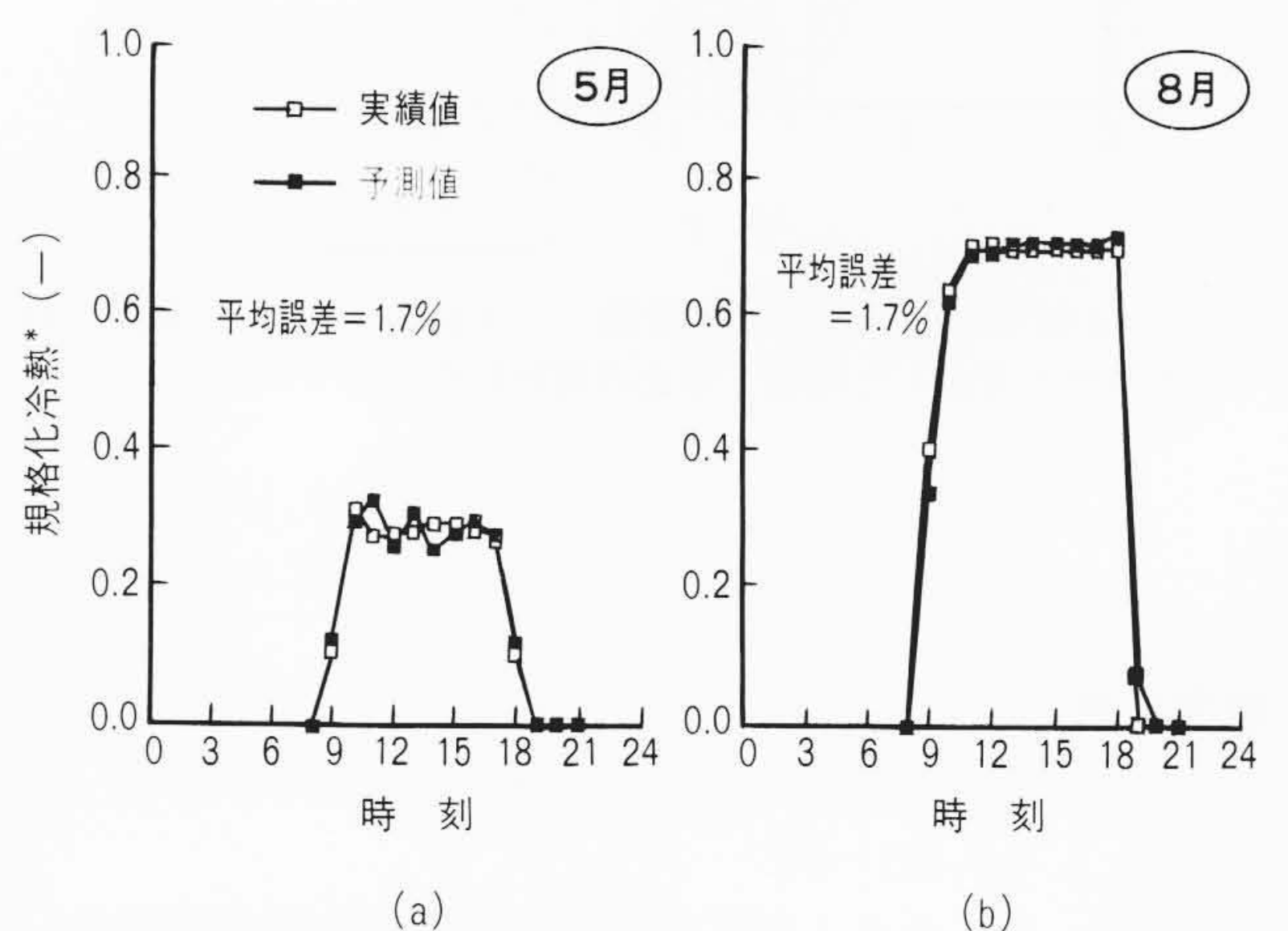
5 運転計画例

数理計画法による結果から、図5に示した運転平滑化ルールに基づいて運転計画を修正すると、吸収冷凍機の起動・停止回数は減少した。さらに起動・停止時の動特性を考慮すると、1時間前から起動しなければならないことがわかった(図6)。また、吸収冷凍機の停止時には希釈運転中の残留熱量が活用できるため、他の吸収冷凍



注：* 夏季の最大需要値を1とした値

図3 ニューロと重回帰分析による予測結果の比較 ニューロは少ないデータでも比較的精度よく予測できる。



注：* 夏季の最大需要値を1とした値

図4 短時間需要予測の一例 熱需要が変動する春季にも変動に追従しているようすがわかる。

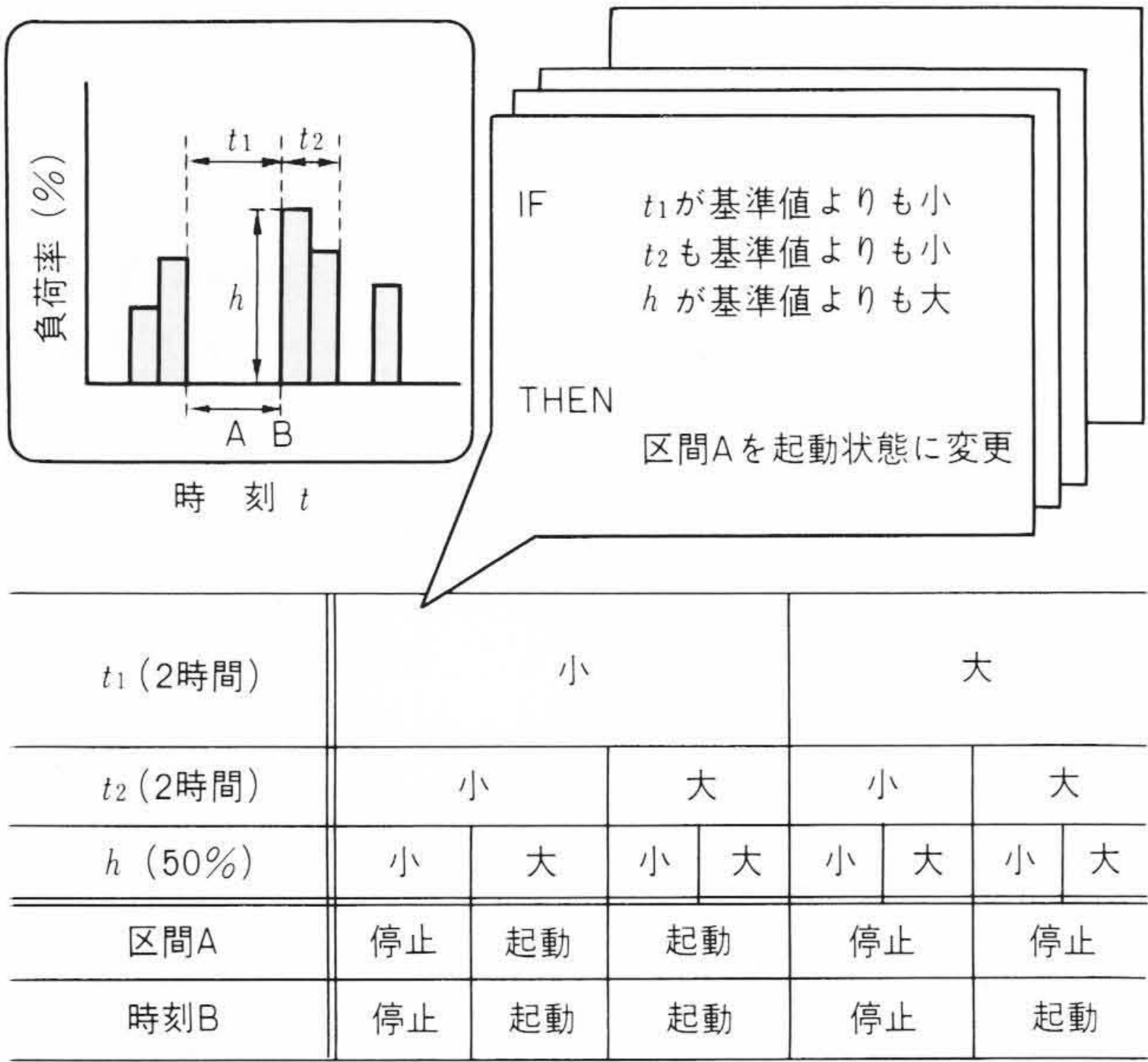


図5 運転平滑化ルール例 熱源機器は起動・停止回数を少なくする。()内は基準値を示す。

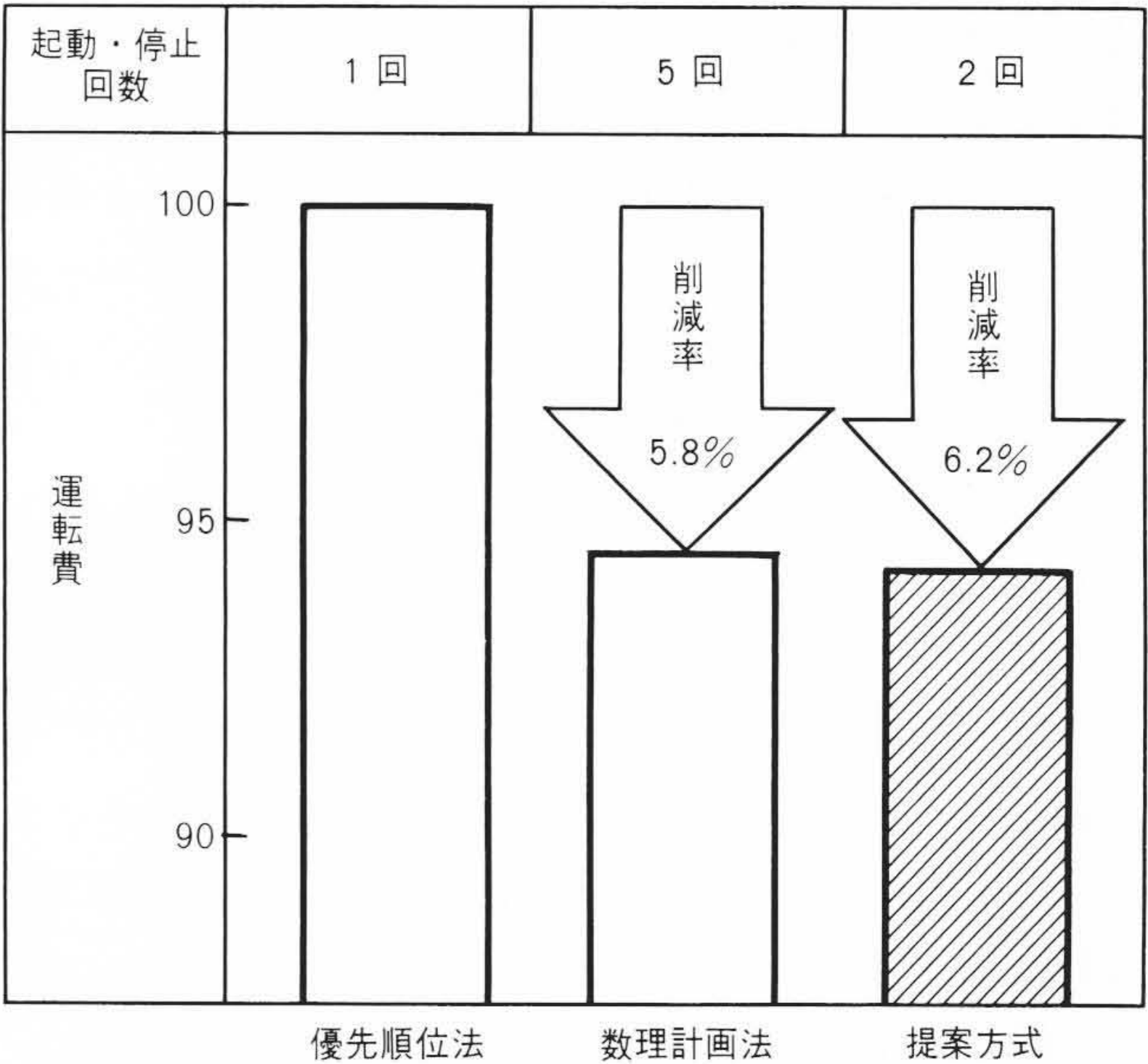


図7 運転費の比較 提案方式は、従来方式の優先順位法に比べて運転費が6%程度少ない。

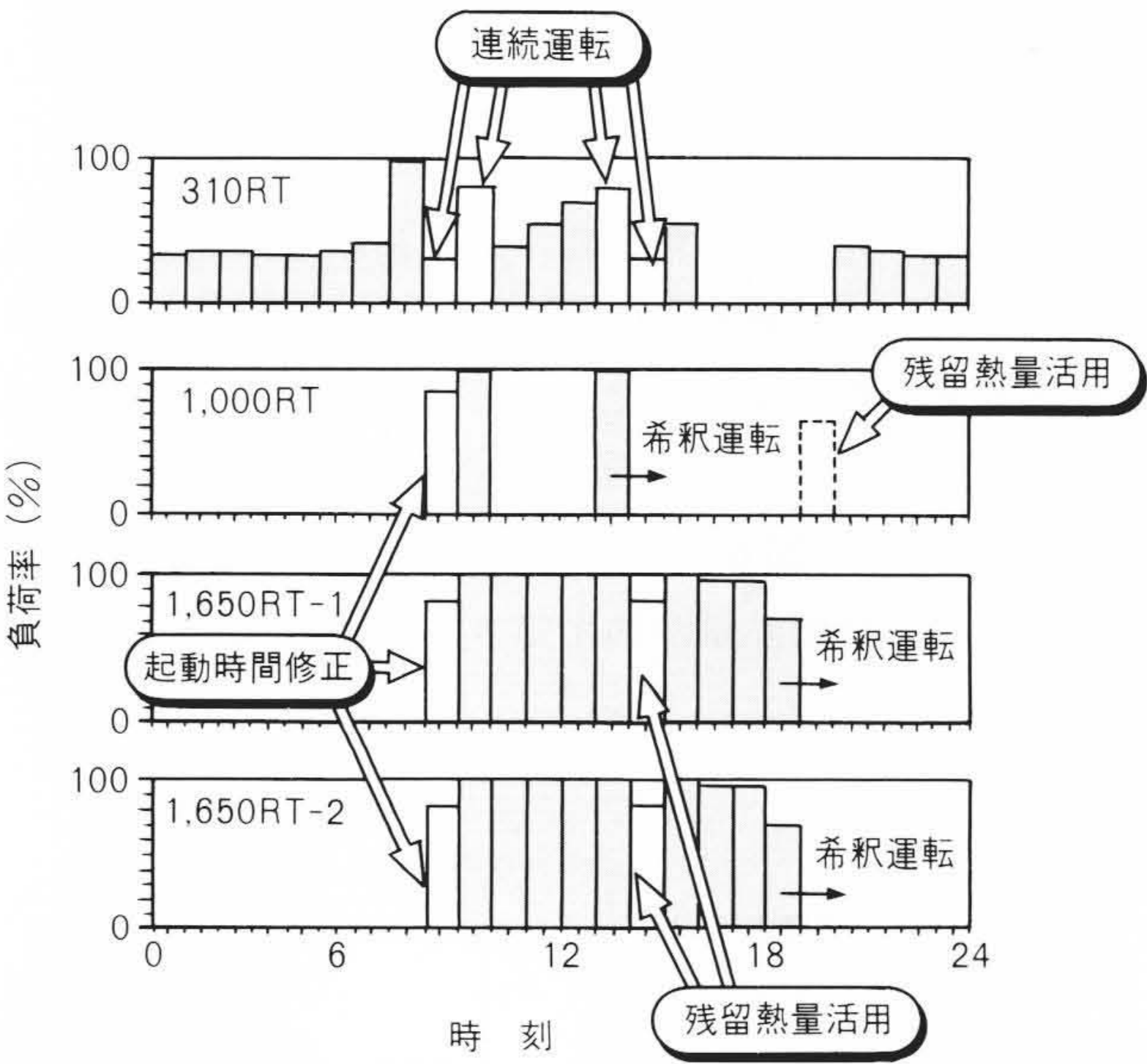


図6 吸収冷凍機の運転計画例 複数台の吸収冷凍機に対し、熱特性を考慮した起動・停止の運転計画となっている。

機を再起動する必要がないという効果があった。

起動特性を考慮して運転費を比較すると(図7), 提案方式は優先順位法よりも6.2%少なく, しかも起動・停止回数を2回まで低減できた。

6 おわりに

ここでは、運転計画システムの概要とシミュレーション例について述べた。その結果、需要変動を的確に予測し、コストミニマムを維持しながら、予測需要値に基づいて各種熱源機器の起動・停止スケジュールを自動的に立案できることを示した。今後とも最新技術を積極的に取り込み、機器メーカーとしてのノウハウを生かしたエネルギー監視・運転支援システムをいっそう高機能化・高性能化してユーザーに提供していく考えである。

最後に、数理計画法について種々ご指導をいただいた大阪府立大学工学部の伊東弘一教授に対し感謝する。

参考文献

1) 尾島：地域冷暖房の変遷，空気調和・衛生工学，Vol.63，No.8，pp.639～645

2) 下田，外：平成4年度電気学会全国大会講演論文集，1011(1992)

3) 伊東，外：コージェネレーションの最適計画，産業図書(1990)

4) D. E. Rumelhart, et al.：Learning Internal Representations by Error Propagation, Parallel Distributed Processing, Explorations in the Microstructures of Cognition, Vol.1.1, MIT Press(1986)

5) 下田，外：電気学会情報処理研究会資料，IP-92-6