

技術報告

UDC 669.1 : 662.614 : 681.323

エネルギーセンターのコンピューターシステム*

彦坂 利久**・斎藤 紀彦**・徳山 博于***
倉重 宗寿**・家長 吉行***・森田 幹男**

A New Advanced Energy Center Computer System in Steel Works

Toshihisa HIKOSAKA, Norihiko SAITO, Hiroyuki TOKUYAMA,
Munetoshi KURASHIGE, Yoshiyuki IENAGA, and Mikio MORITA

Synopsis:

For energy saving in integrated steel works, it is important not only to develop the technique in process (e. g., optimal control of heating furnaces and recovery of waste energy), but also to establish the following techniques for keeping energy demand/supply balances optimal.

(1) Daily production scheduling of works under the condition of balances of blast furnace gas, LD gas, electric power, steam and so on.

(2) on-line optimal controlling of demand/supply of energy while it varies time to time.

In Wakayama Works of Sumitomo Metal Industries, a new energy center computer system has been developed to put these facilities in practice, and the expected energy saving has been achieved.

1. 緒 言

和歌山製鉄所のエネルギー管理システムは Fig. 1 に示すように、オンライン処理機能を中心とするエネルギーセンターシステムと、四半期エネルギー予算および月度エネルギー需給実績、原価計算などの処理を行なう情報管理センターのバッチ処理システム (WODAS-I) とから構成されている。上位の WODAS-I からエネルギーセンターシステムへは、生産計画情報などを、逆にエネルギーセンターシステムからはエネルギーの発生使用の実績データを伝送し、総合的なシステムとなっている。

エネルギーセンターでは Fig. 2 に示すごとく全所のガス、電力、蒸気、購入燃料などのエネルギー需給につき、日程操業計画の立案および実操業における一元的な監視調整を行ない、次の項目からなる省エネルギーとエネルギーコストの低減をはかっている。

- (1) 副生ガスの供給過剰によるガス放散の防止と、ガス供給不足時の代替購入燃料使用の抑制
- (2) 自家発での余剰ガス、購入燃料および蒸気の最適配分による発電効率の向上
- (3) 自家発の最適負荷運転による電力供給費用低減
- (4) 電力需要ピーク平準化によるデマンドオーバー

の防止

これらの目的のため、次の機能を持つエネルギーセンターコンピューターシステムを新たに開発した。

(1) 高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガスなどの副生ガスおよび電力、蒸気などのエネルギーバランスを維持する適正な日程工場操業計画の立案

(2) 実操業における時々刻々のエネルギー需給変動に対する、電力デマンド調整、自家発最適運転をはじめとするオンライン最適調整オペレーションガイド

本稿では、自家発最適運転計算機能を中心として、本システムの機能とその効果について報告する。

2. エネルギーセンターシステムの機能

Table 1 にコンピューターの概略構成を示す。

エネルギーセンターシステムは、Fig. 3 に示すごとくのオンラインオペレーションガイド機能を持つ。その最大の目的は製鉄所全所のエネルギー需給の最適化をはかることにある。Table 2 に機能の概略をまとめた。以下各機能について具体的に述べる。

2.1 電力デマンド予測

製鉄所の電力受電は契約受電範囲内に管理制御しなくてはならない。すなわち電力需要ピークをなくしてこ

* 昭和 53 年 3 月 10 日受付 (Received Mar. 10, 1978)

** 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

*** 住友金属工業(株)中央研究所 (Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries Ltd., 1-3 Nishinagasu-hondori Amagasaki 660)

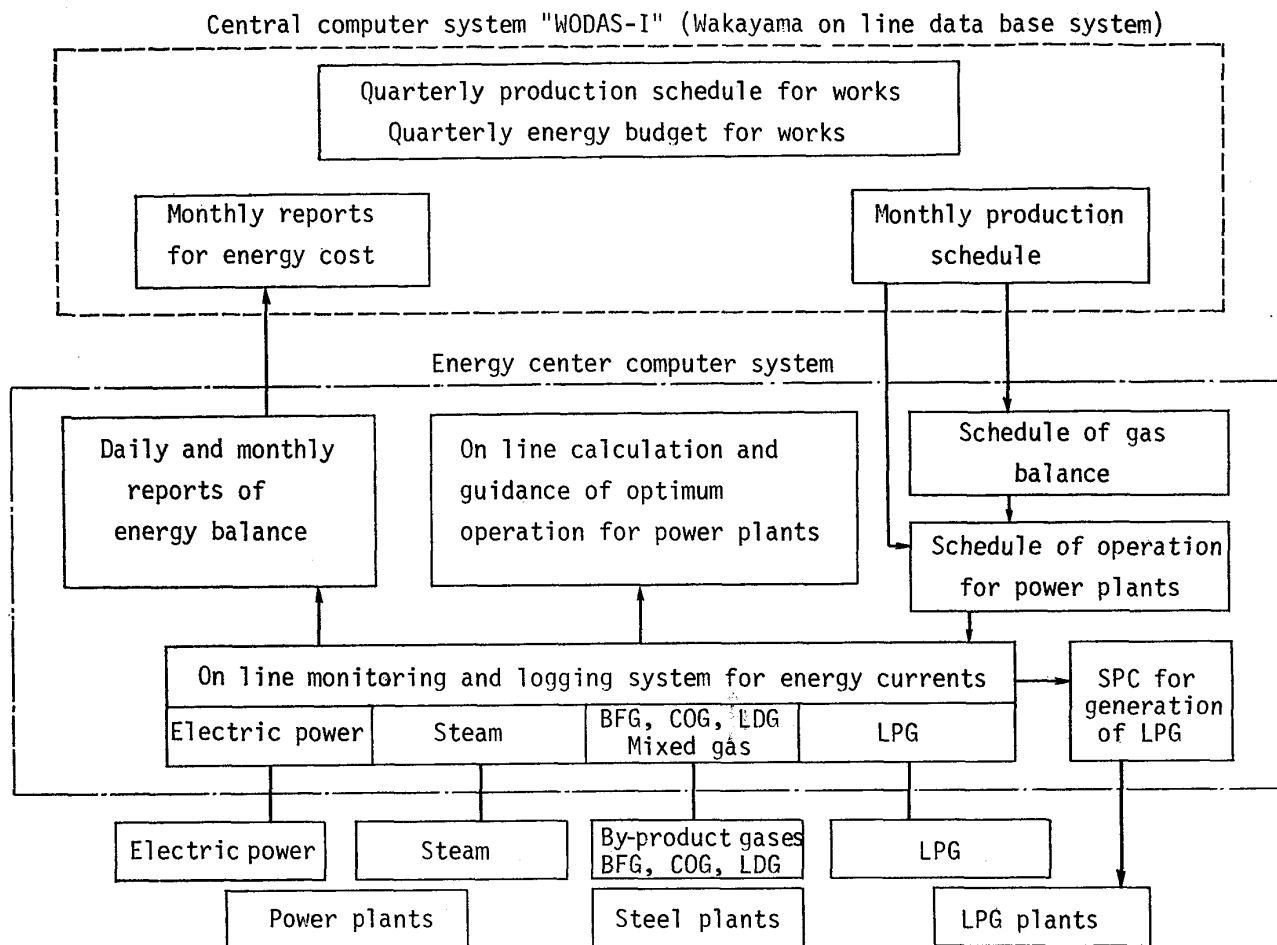


Fig. 1. Total energy control system of Wakayama Works.

Table 1. Composition of the computer system.

CPU	PANA FACOM U-400 (core 48kW)
Disk	1 024kW
CRT (with keyboard)	5
Type-writer	3
Line printer	1
Card reader	1
Paper tape reader/puncher	1
Data free way	8 km
Remote I/O port	5

れを平準化することが最大の問題である。これによつて受電契約量の引き下げも可能となる。

本機能は最少自乗法によつて、30 min デマンド値を予測し、これが契約量を越える場合に警報を発する。これをうけて自家発の出力増加、もしくは圧延工場への操業中断指示が行なわれる。

2.2 ガス需給調整 (ガスホルダーの運転)

製鉄所の所内副生ガスは、高炉ガス、コークス炉ガス、転炉ガス (以下 B ガス C ガス、K ガスと略称する) があ

り、ガスホルダーをバッファとして、自家発によつて需給調整を行なう。従来この調整は運転員の勘にたよつたものであり、自家発に対するガスの供給量が不安定になりがちであつた。このため供給量が不足する場合には、保安電力を促つため高価な重油や BPG などが消費され、また逆にガスを放散しなければならない場合もあつた。

このため、システムは所内副生ガスのホルダーレベル予測制御機能をもつ。

(1) B ガスホルダー

各高炉の休風減風などの操業計画と、熱風炉、自家発および共同火力ボイラーなどの使用量データをもとに、需給のアンバランス量、ホルダーのレベル変動を予測計算して CRT に表示する。さらに、ホルダーレベルが上下限管理範囲を越えることが予測される場合には、運転員に対して警報が出される。需給のアンバランスは自家発ボイラーと共同火力のボイラーへの B ガス供給量で吸収されるが、システムは後に述べる自家発最適運転計算を自動的に起動し、最適な自家発と共同火力への配分が指示される。

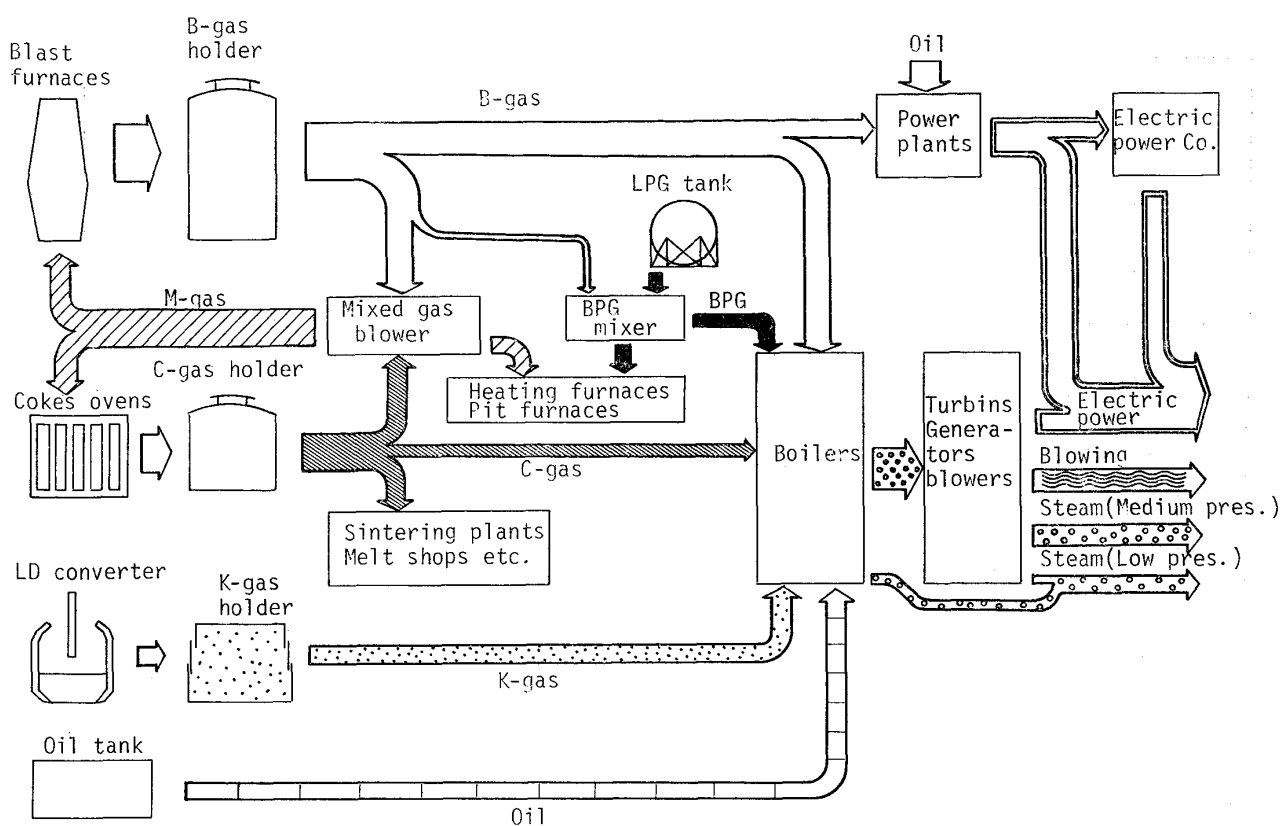


Fig. 2. Energy flow under management of the computer system.

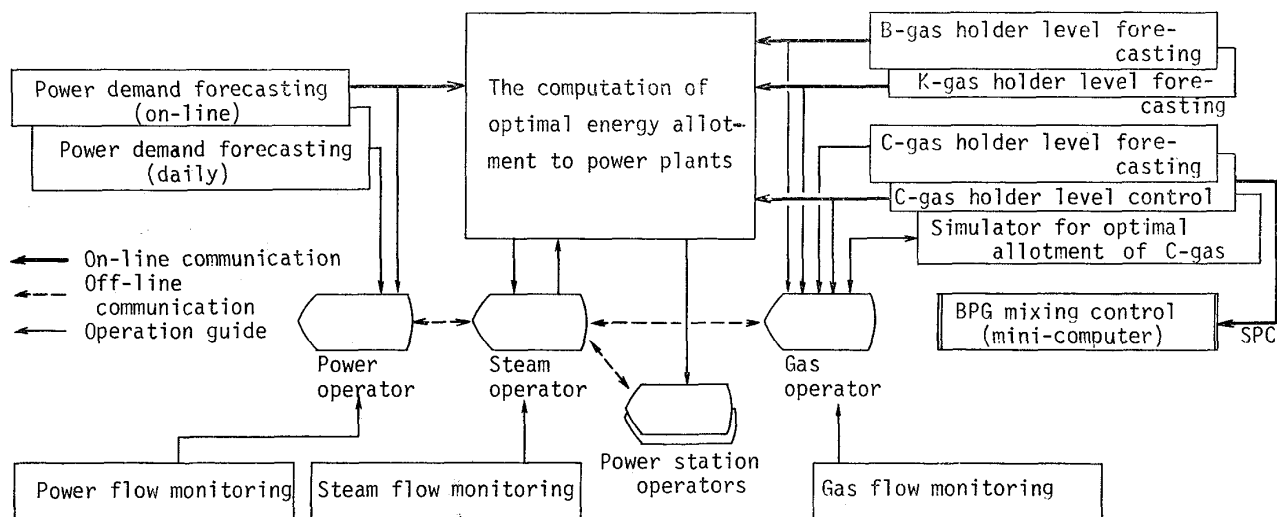


Fig. 3. Facilities of the computer system.

(2) Cガスホルダー

システムは過去のホルダーレベルの時系列変動から最少自乗法にてホルダーレベル予測を行ない、これが管理上下限の範囲内で推移するように、Cガスの代替燃料としてのBPG発生量を下位のミニコンピュータを通じて自動制御する。またBPG発生で吸収できない変動に対しては、自家発へのCガス供給量変更量を求めて、自動的に自家発最適運転計算を起動する。

(3) Kガスホルダー

Kガスのホルダーはその容量が小さいため、転炉にて発生するKガスを放散するケースが多くその回収率が悪い。このためシステムは転炉コンピューターより受け取る吹錬計画情報をもとにKガスの需給バランスを予測し、ホルダーレベルを制御すべく自家発での適切なKガス使用量を指示する。これによつてKガス回収率の向上が可能となった。

Table 2. Facilities of on-line operation guide system.

Facilities	Objects of operation	Interval of calculation	Purpose
Electric power demand forecasting and control	Power stations Hot strip mill etc.	1 min	Prevention of demand over
Holder level (Gas-balance) forecasting and control			
BFG (B-gas)	Power stations	1 min	Prevention of by-product gas waste
COG (C-gas)	BPG plant Power stations	1 min	
LDG (K-gas)	Power stations	1 min	Decrease of Oil, BPG usage
COG balance simulator	Power stations BPG plant Heating furnaces etc.	2—3 times/d	
Computation of optimal energy allotment to power plants	Power stations (boilers, turbine-generators)	2—3 times/h	Optimal allotment of fuels Decrease of electric power cost

2.3 Cガス最適配分シミュレーション

コークス炉の停止および復旧時には、需給バランスがくずれホルダーのレベル回復に通常かなりの時間を要する。これに対し、Cガスの数日先までの配分計算を対話形式で行なうことのできるシミュレーターがある。

シミュレーターは、運転員が設定したコークス炉操業情報をもとに、Cガス発生量の減少および回復の推移を予測する。一方、運転員は、ホルダーレベルが許容範囲内で推移するように、工場名、使用量、時間帯などのCガス配分予定案を設定し、計算を行なわせる。そして、CRTにグラフ表示されたホルダーのレベル変動推移を見て、配分予定案を検討するものである。

2.4 自家発最適運転計算

所内副生ガスの自家発への供給量調整の必要時や、中低圧蒸気の需要量の変化がある時などにオンラインで自家発の最適な運転方法を計算し、CRTにて運転指示を行なう機能である。本稿では特に本機能について詳細に述べる。

2.5 実績収集ロギング

各エネルギーの発生使用実績を日報月報として出力する。またエネルギー原価データとして上位システムに実績データを出力する。

なおバッチ処理の計画業務の概要は次の通りである。

2.6 ガスバランス計画（月度計画）

1ヶ月先迄の生産計画、各工場操業計画、副生ガスの発生原単位、燃料使用原単位などの情報を上位システムから受けて、ガス発生および燃料使用の需給計画を計算する。計算のメッシュは1h、結果の出力はシフト単位である。

2.7 自家発運転計画（月度計画）

高炉送風、自家発運転計画、投入燃料計画をつくる。投入燃料はガスバランス計画で工場操業のために先取りされた残りのガスおよび購入燃料による、なお制約条件にて、共同火力へ供給するBガスは契約量を確保する。

3. 自家発最適運転計算システム

3.1 自家発最適運転計算問題の概要

3.1.1 目的

所内副生ガスの自家発への供給や、工場の蒸気需要の時々刻々の変動に対し、ガス、購入燃料および蒸気の最適配分と、もつとも経済的な負荷での自家発運転を行なうことによつて、燃料の有効利用および電力と蒸気の供給費用の低減をはかる。

3.1.2 条件

(1) 設備条件

和歌山製鉄所の自家発電設備は Fig. 4 のごとくボイラー7缶、タービン発電機3基、タービン送風発電機4基、タービン送風機2基その他から構成されている。これらの設備の特色としては、すべて多機多缶方式がとられ、各蒸気系統（高圧、中圧、低圧の三系統）ごとにながっていることである。

(2) ガスの需給バランス条件

自家発は保安電力、高炉送風、中低圧蒸気を確保する役割と同時に、所内副生ガスの需給調整設備としての役割が大きい。すなわちガスの需給アンバランスは一時的なバッファとしてのガスホルダーを経て自家発のボイラーおよび共同火力のボイラー（ただしBガスのみ）の燃料調整によつて吸収される。

自家発で使用する燃料のうち、Cガス、Kガスは上記

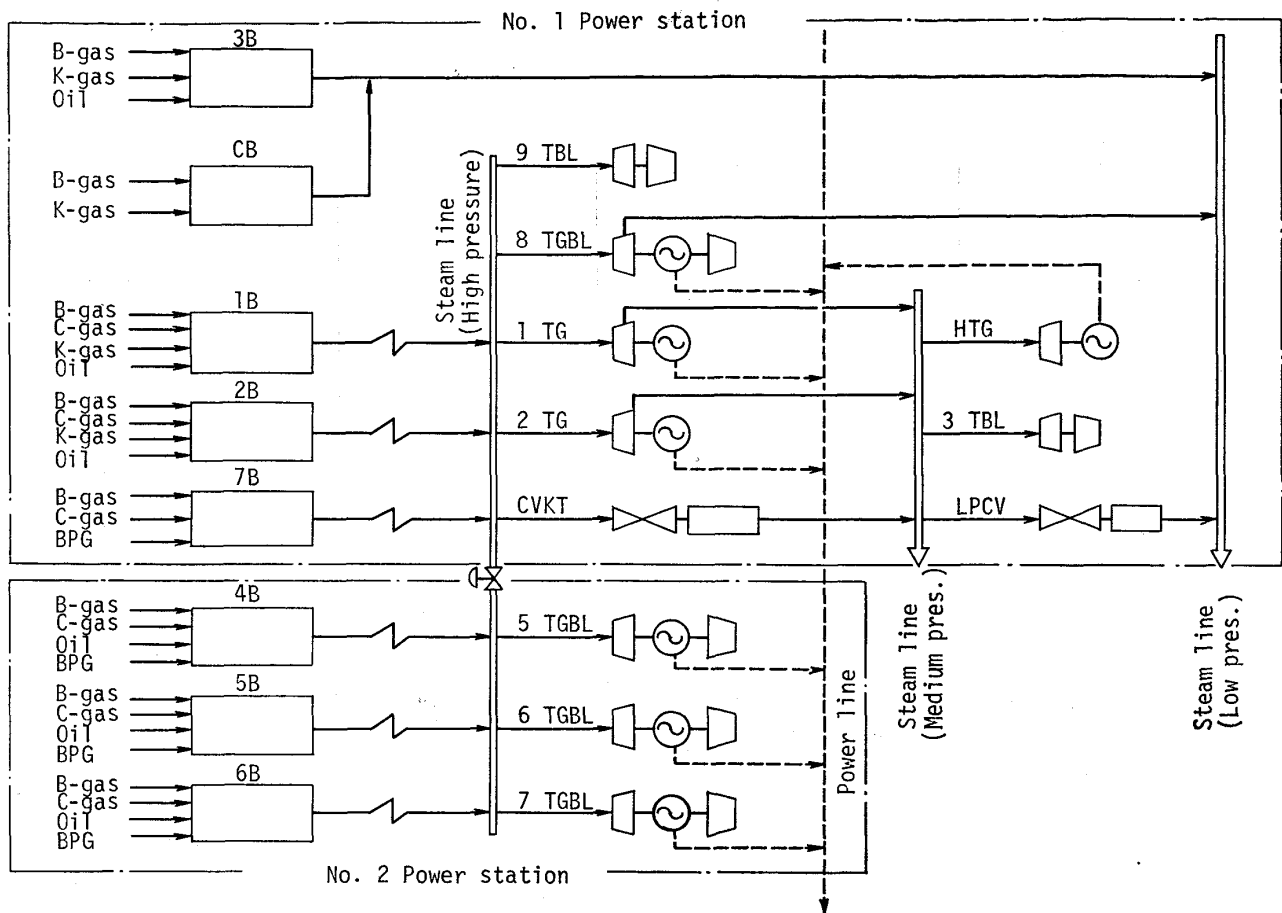


Fig. 4. Configuration of the power stations.

のごとく、需給バランスを調整するため、指定された量を自家発ボイラーで使用する必要があります、指定燃料と呼ぶ。一方、Bガスや、重油、BPGなどの購入燃料は、その自家発での使用量がある程度調整可能なので調整燃料と呼ぶ。

(3) 電力の需給バランス条件

製鉄所内の電力需要は、自家発、共同火力、買電によって供給される。共同火力は、供給されたBガスと重油とを使用して一定量の電力供給を行なっている。一方自家発は保安電力を確保し、買電は契約値以下でなければならない。

(4) 蒸気バランス条件

前述のごとく和歌山製鉄所の自家発は多機多缶方式をとっている。これは、送風発電機、送風機、発電機間で蒸気の運用に融通性をもたせて臨機応変な運転を可能にすることを目的としている。一方、この方式では、各蒸気系統ごとに需給バランスを厳密に確保しながらの運転が要求される。加えて、第1、第2発電所間の高圧蒸気連絡管の蒸気流量に制約がある。

(5) 自家発プラントの性能および運転制約条件

自家発各プラントは、製鉄所の拡張に伴って逐次設置されて来たわけであり新旧の設備間でその能力、性能に差がある。

ボイラーについては、多種の燃料を使用するが、各燃料ごとに熱効率が異なる。また負荷によって熱効率が異なるため燃料使用量と蒸気発生量の関係が非線型になっている。一例を Fig. 5 に示す。

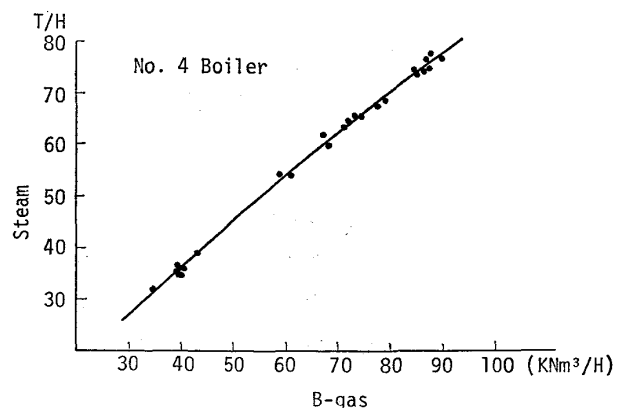


Fig. 5. Relationship between B-gas consumption and steam generation.

ボイラーの運転は燃料の混焼によつて行なわれるが、各燃料はバーナーの流量上下限の範囲またはゼロでなくてはならない。当然のことながら、発生蒸気量はボイラーの負荷の上下限の範囲でなくてはならない。

発電機でも、蒸気流量と発電量の関係が非線型になっている。またタービンの抽気によつてボイラーの給水加熱を行なっているため、ボイラーの負荷が変わることによつて上記関係が変わる。

発電機はその種類によつて運転条件が異なる。すなわち送風発電機では、高炉送風に必要な蒸気量を確保したうえで、蒸気量と発電量は各々定格上下限内での運転が必要である。さらに抽気によつて中低蒸気を各ラインに供給するタービン発電機では、この抽気量に応じた蒸気の確保が必要となる。

以上述べたごとくの運転条件のほか、プラントの安定した運転を確保するため、運転員の作業性を考慮してボイラーの燃料流量、タービンの蒸気流量に一定の操作限度巾を設ける必要がある。

3.2 定式化

3.1 で述べた本問題を下記のごとくの非線型計画問題に定式化する。

3.2.1 目的関数

最少化すべき目的関数として次式で定義される総費用をとりあげる

$$\text{総費用 } A \triangleq \text{支払電力量料金} - \text{販売 } B \text{ ガス料金} \\ + \sum (\text{自家発各ボイラー使用購入燃料費用}) \cdots \cdots (1)$$

電力量料金および販売 B ガス料金は Fig. 6 に示すごとく折線式になっている。

3.2.2 制約条件

(1) ガスおよび購入燃料のバランス条件

$$\cdot \text{指定燃料: } \sum_j x_{ij} = X_i \cdots \cdots (2)$$

$$\cdot \text{調整燃料: } \sum_j x_{ij} \leq X_i \cdots \cdots (3)$$

・ B ガス販売量条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_K = X_i - \sum_j x_{ij} \quad (i = B \text{ ガス}) \\ X_K^L \leq X_K \leq X_K^U \end{array} \right\} \cdots \cdots (4)$$

(2) 電力バランス条件

$$\cdot \text{需給バランス条件: } G_T = G_P + G_K + G_B \cdots \cdots (5)$$

$$\text{保安電力確保条件: } G_P (= \sum_k P_k) \geq G_P^L \cdots \cdots (6)$$

(3) 蒸気需給バランス条件

$$\cdot \text{高圧蒸気: } \sum_j y_j = \sum_k z_k \cdots \cdots (7)$$

$$\text{中圧蒸気: } S_M = C_{k_1} + z_{k_2} + z_{k_3} \cdot e_1 \\ - (z'_{l_1} + z'_{l_2} + z'_{l_3}) \cdots \cdots (8)$$

(8)式は供給量として C_{k_1} (タービン k_1 の抽気), z_{k_2}

(タービン k_2 の排気), $z_{k_3} \cdot e_1$ (減圧弁による発生) があり、需要側に S_M 中圧蒸気の工場使用量), z'_{l_1} (中圧タービン発電機), z'_{l_2} (中圧タービン送風機), z'_{l_3} (減圧弁があることを示す。

$$\cdot \text{低圧蒸気: } S_L = C_{k_4} + y'_{j_1} + y'_{j_2} + z'_{l_3} \cdot e_2 \cdots \cdots (9)$$

(9)式は工場使用量 S_L に対し、供給側として C_{k_4} (タービン k_4 の抽気), y'_{j_1} , y'_{j_2} (低圧ボイラー発生量), $z'_{l_3} \cdot e_2$ (減圧弁)があることを示す。

(4) ボイラーの運転制約条件

・ 蒸気発生条件式:

$$y_j = f_j(x_{1j}, \cdots, x_{ij}, \cdots) \cdots \cdots (10)$$

$$\cdot \text{燃料使用量制約: } x_{ij} = 0 \text{ または } \left. \begin{array}{l} x_{ij}^L \leq x_{ij} \leq x_{ij}^U \end{array} \right\} \cdots \cdots (11)$$

$$\cdot \text{蒸気発生量制約: } y_j^L \leq y_j \leq y_j^U \cdots \cdots (12)$$

・ 燃料操作限度量制約:

$$|x_{ij} - x_{ij}^0| \leq \Delta x_{ij}^S \cdots \cdots (13)$$

(5) タービンの運転制約条件

・ 発電条件式

$$P_k = g_k(z_k, y_j, BL_k, C_k) \cdots \cdots (14)$$

$$\cdot \text{蒸気量制約: } z_k^L \leq z_k \leq z_k^U \cdots \cdots (15)$$

$$\cdot \text{発電量制約: } P_k^L \leq P_k \leq P_k^U \cdots \cdots (16)$$

$$\cdot \text{抽気量制約: } C_k^L \leq C_k \leq C_k^U \text{ および } \left. \begin{array}{l} d_k^L \leq z_k - C_k \leq d_k^U \end{array} \right\} \cdots \cdots (17)$$

・ 蒸気操作限度量制約:

$$|z_k - z_k^0| \leq \Delta z_k^S \cdots \cdots (18)$$

本モデルにて解を与えるべき変数は上記のごとくの条件のもとで、ボイラーの燃料配分 x_{ij} , タービンへの蒸気配分 z_k , および、中低圧蒸気需給に関する諸変数 ((8), (9), 式の右辺の各変数) である。

3.3 解法

本モデルの解法を検討するにあたり、下記のごとくの条件を考慮する必要がある。

(1) 運用頻度: ガスの供給量や、中低圧蒸気の需要は、生産工場の操業に対応してかなりの頻度で変動する。したがって、これらの条件が変化するたびに計算を行なつて新たな運転指示を行なう必要がある。

(2) 効率性: 計算の頻度が高く、またオンラインでの迅速な運転指示を行なう必要上、コンピュータの処理能力に負担とならない効率的な解法でなくてはならない。

本問題の解法に関連した従来の手法として LP (線型計画法) を利用したモデルが発表されている¹⁾²⁾。しかしボイラー、発電機は負荷によつて熱効率が変わるなど、その特性を線型で表現することに無理があり、計算結果の最適性に問題がある。また LP の特性から運転制約の

上下限にはりつく解が得られるため、わずかな条件の変化に対しても急激なプラントの負荷の変更が要求され、実操業の追従性にも問題があることが考えられる。

一方、NLP（非線型計画法）を使つたモデルにおいては^{3)~5)}、その収束性が問題となり、計算時間が長くなるためオンラインコンピュータでの迅速な解答を要求される本問題においては実用的でない。

そこで、筆者らは、最大傾斜法をベースとした本問題向の効率のよい解法を開発した。その特色として下記項目が承げられる。

(1) 1回の計算では現状の運転状況を初期値として各燃料、蒸気の操作量限度中で決められる近傍での近似最適解をもとめる。

(2) 計算→運転指示→追従(初期値変更)→条件変化→計算の繰り返しによつて、最適解に逐次近づいていく方法をとる。

解法の概略フローを Fig. 6 に示す。これは Fig. 7 に示した本問題の要素を逐次計算して行く方法である。

3.3.1 指定燃料および蒸気的最適配分

指定燃料がそのホルダーレベル予測によつて、需給調整のために自家発への燃料供給量を変更する場合に、どのボイラーでどれだけの燃料の調整を行なうかを、また

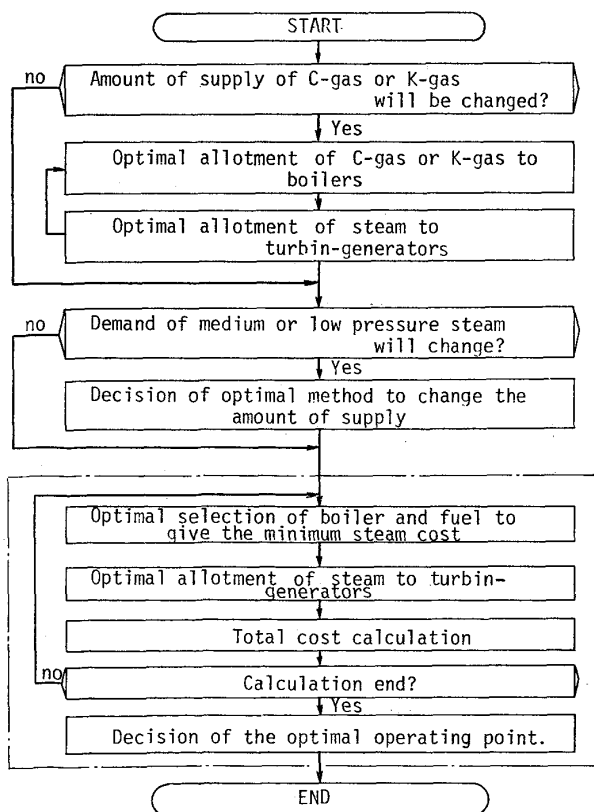


Fig. 6. Flow diagram for the computation of optimal energy allotment to power plants.

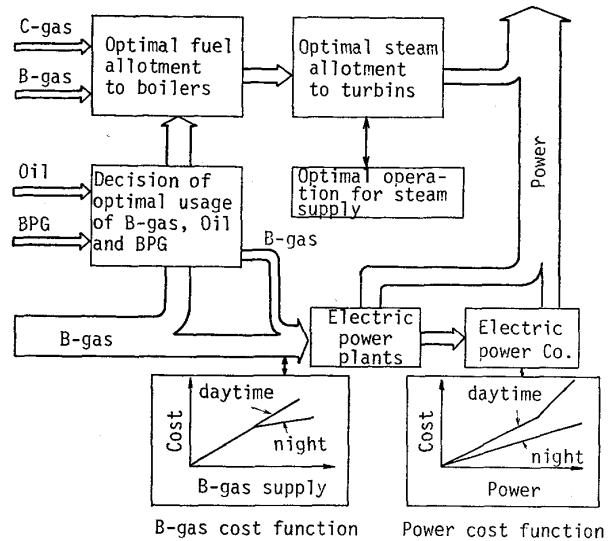


Fig. 7. Composition of the problem for optimal energy allotment to power plants.

これによる蒸気の増減をどのタービンで調整するかを決定する。

指定燃料 i につきその供給量の増減分を Δx_i とする。 $\Delta x_i > 0$ の場合（指定燃料がすべて増加する場合）について述べる。

① ボイラー j と指定燃料 i の組み合わせについて、初期値から燃料を一定量 Δx_i (Δx_i を適当に分割したとえば、 $1 \text{ kNm}^3/\text{h}$) 増加させた場合の蒸気発生原単位 α_{ij} を (19) 式と (20) 式にて求める。

$$\Delta y_{ij} = f_j(\dots, \hat{x}_{ij} + \Delta x_i, \dots) - f_j(\dots, \hat{x}_{ij}, \dots) \quad (19)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{\Delta x_i q_i}{\Delta y_{ij} - \Delta y_{ij} \cdot w_j} \quad (\text{kcal/h/t/h}) \quad (20)$$

ただし計算の初期状態では、最適な燃料配分の指示値は、現状の燃料配分値に等しい。すなわち、 $\hat{x}_{ij} = x^0_{ij}$ 。

α_{ij} のうち最少となるボイラー j_m 燃料 i_m を選んで Δx_{i_m} の投入を決める。すなわち、 $\hat{x}_{i_m j_m}$ に Δx_{i_m} を加え、蒸気発生量 $\hat{y}_{i_m}$ に $\Delta y_{i_m j_m}$ を加える。

ただし、燃料使用量上限、操作限度量、蒸気量上限の制約のいずれかにかかっているボイラーは選択の対象から除く。また Δx_{i_m} の投入によつてこれらの制約にかかる場合には Δx_{i_m} のうち可能な量だけの投入が行なわれる。

② 上述ボイラーの負荷の変化によつて対応するタービン k の給水加熱用蒸気が増加するため発電量が (21) 式に示す $\Delta P'_k$ だけ変化する。

$$\Delta P'_k = g_k(\hat{z}_k, \hat{y}_{j_m} + \Delta y_{i_m j_m}, \dots) - g_k(\hat{z}_k, \hat{y}_{j_m}, \dots) \quad (21)$$

③ 発生した蒸気増分 $\Delta z (= \Delta y_{i_m j_m})$ を発電機に投入

配分するのに各発電機につき発電原単位 β_k を (22), (23) 式によつて求める.

$$\Delta P_k = g_k(\hat{z}_k + \Delta z, \dots) - g_k(\hat{z}_k, \dots) \dots \dots \dots (22)$$

$$\beta_k = \Delta z / \Delta P_k \text{ (t/h/MW)} \dots \dots \dots (23)$$

β_k のうち最少となる発電機 k^m を選んで Δz の投入を決める. すなわち, 蒸気配分指示値 $\hat{z}_{k^m}$ に Δz を加え, 発電量 $\hat{P}_{k^m}$ に P_{k^m} を加える. ただし蒸気上限, 操作限度量, 発電量上限の制約のいずれかにかかっている発電機は選択の対象から除く. また Δz の投入によつてこれら制約にかかる場合は Δz のうち可能な量だけ投入し, 残った蒸気は別の発電機に配分する.

④ ①~③の処理を, 自家発への指定燃料の増分 ΔX_i をすべて配分し終るまでくり返す.

ΔX_i が負の場合の処理については省略する.

3.3.2 自家発の最適発電量決定

各調整燃料の自家発での最適使用量および最適な発電量を総費用 A が最も安くなるように, 以下に述べる計算方法によつて決定する.

(1) ボイラー j と調整燃料 i の組み合わせについて指定燃料配分後の運転状態から燃料ごとに決められた一定量 Δx_i を投入することにより増加する蒸気の単価 γ_{ij} を (24) 式で求める. Δy_{ij} は (19) 式にて求める.

$$\gamma_{ij} = \frac{\Delta x_i \cdot a_i}{\Delta y_{ij} - \Delta y_{ij} \cdot w_j} \text{ (¥/t)} \dots \dots \dots (24)$$

γ_{ij} が最少となる燃料 i^m およびボイラー j^m を選んで Δx_{im} を投入した場合の発生蒸気増分 Δz をもとめる. 次に 3.3.1 の②および③で述べた処理を行ない配分すべき発電機 k^m を選んで発電量の増分 ΔP_{k^m} を求める.

(2) もし運転状態を上記のごとく最適に変えた場合の総費用を (1) 式によつて求める. たとえば B ガスの場合は, 共同火力への供給量が減少し, 受けとるべき B ガス代金が減る. それ以外調整燃料の場合は, 第 3 項の費用が増加する. 一方自家発電の増分に対応して買電量が減るので, 支払い電力量料金が減る.

(3) 上記の処理の後の運転状態から (1), (2) の処理をプラントの運転制約, ガスの需給制約, 電力の需給制約の範囲内で繰り返す.

(4) 上記での調整燃料増加の方向とは逆に減少方向での計算処理を行なう.

(5) これらの繰り返し計算ごとの運転状態の中から総費用の最も安い状態を選び, 各調整燃料の使用量および発電量を決定できる.

Fig. 8 は燃料を B ガスに限った場合の総費用と自家発

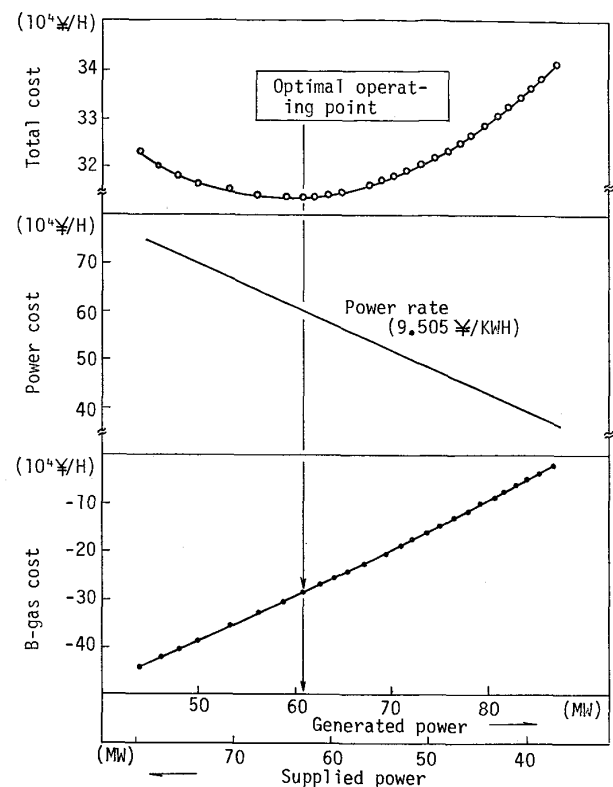


Fig. 8. Relationship between total cost, generated power, and supplied power.

電量との関係の例を示す.

3.3.3 中低圧蒸気の最適発生方法の決定

生産工場で使用する中低圧蒸気の需要量が変化する場合に, その供給量を調整するのに, 最もコスト的に有利な方法を決定する. 以下では低圧蒸気の場合について概略を述べる.

低圧蒸気の供給量を調整するのに以下の調整方法がある.

(1) 低圧ボイラーの負荷調整

(2) タービンの抽気量調整

(3) 中圧蒸気よりの減圧. この場合, 中圧蒸気の需給バランスを崩さないための操作を行なう必要があり, その方法として, タービンの抽気, 排気, 減圧弁, 中圧タービンの負荷調整の方法がある.

低圧蒸気量の需要が増加する場合に, 上記方法のすべてについて, 現状の運転状態で一定量の低圧蒸気を発生するのに必要な費用をもとめる. たとえば低圧ボイラーでは, この蒸気を増加させるための燃料量が, 蒸気発生条件式からわかり, これと燃料単価から蒸気の費用が求まる. またタービンの抽気では, 抽気の増加によつて発電量が低下するが, これを買電で補った場合の費用から低圧蒸気の費用が得られる. これらの費用のうち最も安い低圧蒸気の発生方法を選んで, その調整を行な

うことを決定する。そして需要量の増加分をすべて賄うまで上記操作を繰り返す。

3.4 計算例

自家発最適運転計算の効果を確認するため、従来の運転基準による実績の運転データとこれと同じ条件で本計算によつて求めた運転方法とを総費用で比較した。結果の一例が Fig. 9 に示されている。Fig. 9 では、総費用の約 1% に相当する費用削減が可能になったことが示されている。

3.5 運用

本計算システムは、下記のごとくの自家発の運転状態を変化させる必要のある要因が発生したときに自動的に起動される。(平均 2~3 回/1h)

- (1) 所内副生ガスの需給アンバランス発生時
- (2) 夜間昼間の電力料金、ガス販売料金切り替え時
- (3) 電力デマンドオーバーが予測される時に自家発の出力増加が必要な時
- (4) 低圧蒸気の圧力が変動し、蒸気供給量を変更する必要がある時。

これらの要因のほか、保安電力の変更時、定検時前後のプラント負荷を固定する場合など、CRT からのデータ設定後、ボタン操作によつて起動される。

4. コンピューターシステムの運転状況と効果

本システムは、昭和 51 年 10 月の現地搬入以来、各機能の調整と運転員教育の徹底をはかり、昭和 52 年 6 月旧システムとの切換えをすべて完了した。以後順調に稼動している。その後の調査によつて以下の効果が確認された。

- (1) 電力供給総費用の削減
- (2) 電力デマンドオーバー防止のための迅速な処置
- (3) 契約受電量の引き下げ
- (4) LPG をふくむ購入エネルギーの節約
- (5) 事務工数の削減および省力

このように、新システムはまだ稼動後あまり期間は経っていないが、省エネルギー時代のエネルギーセンターのオペレーションガイドシステムとして現場に十分溶けこみ、多大の貢献をなしている。

5. 結 言

以上和歌山製鉄所の新しいエネルギーセンターシステムの機能とその効果について述べた。本システムは製鉄所のエネルギー需給調整の最適化のため、エネルギーの需要予測や自家発最適運転計算などの特長ある機能を持ち、また上位システムとのリンケージによつて総合的な

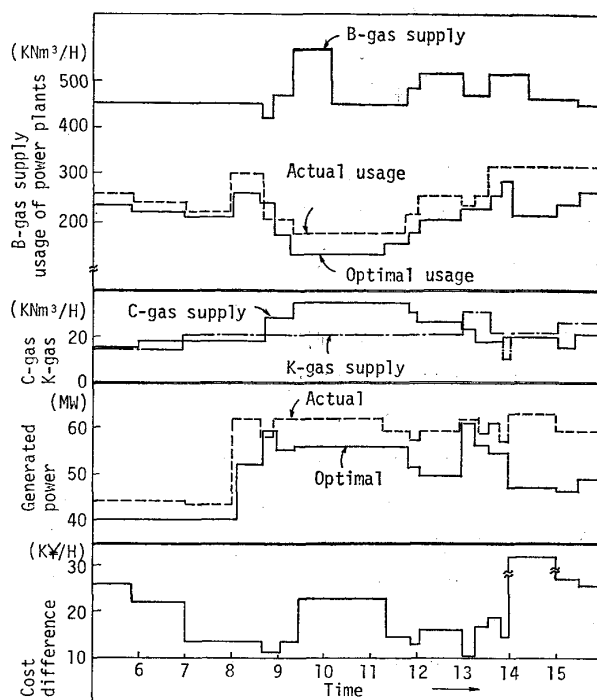


Fig. 9. Comparison between actual operation and the computation of optimal energy allotment to power plants.

エネルギー管理システムを構成している。これによつて省エネルギーおよびエネルギーコストの低減に多大な効果をあげることができた。

最後に、本システムは和歌山製鉄所動力部、設備部、システム部、本社 I E 室、中央技術研究所オートメーション研究室などのメンバーからなるワーキンググループで開発したものであり、関係各位の御協力に感謝の意を表する次第である。

記 号

- i : 燃料に対応する添字
- j : ボイラーに対応する添字
- k : タービンに対応する添字
- l : 中圧蒸気を使用するタービンに対応する添字
- a_i : 燃料単価 (¥/kNm³)
- A : 総費用 (円/h)
- BL_k : 高炉送風量 (kNm³/h)
- C_k : 抽気量 (t/h)
- d_k : 主蒸気量と抽気量の偏差 (t/h)
- e_1, e_2 : 減圧前後の蒸気流量比
- f_j : ボイラーの蒸気発生関数
- g_k : タービンの発電関数
- G_T : 製鉄所の総需要電力 (MW)
- G_K : 共同火力よりの受電量 (MW)
- G_B : 外部よりの購入買電量 (MW)
- G_P : 自家発の発電量合計 (MW)
- P_k : 発電量 (MW)
- q_i : 単位量あたり熱量 (kcal/kNm³)
- S_M, S_L : 中圧, 低圧蒸気の工場需要量 (t/h)

w_j : 単位主蒸気量あたりの給水加熱用抽気量
(t/h/t/h)

x_{ij} : 燃料 i のボイラー j での消費量 (kNm³/h)

Δx_{ij} : 単位操作量 (kNm³/h)

Δx_{ij}^s : 1 回の操作限度幅値 (kNm³/h)

X_i : 燃料 i の自家発への供給量 (kNm³/h)

ΔX_i : 供給量変動値 (kNm³/h)

X_K : B ガスの共火への外販量 (kNm³/h)

y_j : 蒸気発生量 (t/h)

y'_j : 低圧ボイラーの蒸気発生量 (t/h)

z_k : 蒸気消費量 (主蒸気量) (t/h)

Δz_k^s : 1 回の蒸気操作限度幅値 (t/h)

z'_l : 中圧蒸気の消費量 (t/h)

α_{ij} : 蒸気発生原単位 (kcal/h/t/h)

β_k : 発電原単位 (t/h/MW)

γ_{ij} : 蒸気単価 (¥/t)

注) 右肩につけた U , L は上下限值であることを示す.

また $\wedge$ は運転指示値, 0 は計算前運転状態 (初期値) であることを示す.

文 献

- 1) 八島高雄, 和田昭吾: 富士時報, 10(1965), p. 636
- 2) 永井 元, 藤原康男, 徳山博子, 綿田 弘: 住友金属, 23(1971), p. 448
- 3) 荒川敏一, 白江 宏: 富士時報, 41(1968), p. 854
- 4) 小松治久, 玉丸圭司: 三菱重工技報, 14(1977), p. 7
- 5) 有元 正, 射場大造, 北原利正, 原野 豊: 日立評論, 59(1977), p. 45
- 6) 是木昭二, 滝川明郎, 田中博一郎, 鈴木勇司: 東芝レビュー, 33(1978), p. 288