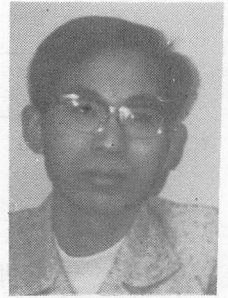


## ■ 解 説 ■

# 省エネルギー診断・分析・対策のための システム的手法

## Systematic Approach for Energy Conservation.



吉 田 総 夫\*

Fusao Yoshida

梶 原 惇\*\*

Atsushi Kajihara

中 井 孝\*\*\*

Takashi Nakai

### 1. はじめに

石油問題を背景としたエネルギー不足に対処するために省エネルギーの推進と代替エネルギーの開発が併行して進められている。特に省エネルギーは即戦力として経済的に実効性が高く、技術的課題も初期の段階ではそれほど困難なものは少ない。むしろ、省エネルギーは単にエネルギー使用の合理化、効率化という見地からだけでなく、広く国の産業経済政策とかがかかわっている<sup>1)</sup>。

経済政策のひとつの目標として「稀少性資源の合理的配分」が挙げられるが、この稀少性資源の中味は、過去において、いろいろと変化してきた。1950年代では、多くの企業が資金不足に直面していたため、総資本当りいくらの利益をあげたかという総資本利益率が企業ないし経営者の能力を評価する唯一の指標と考えられていた。それが、高度経済成長期を迎えて、1960年代後半になると、企業は若年労働者の不足に悩むようになり、従業員1人当りの加工高はいくらかという労働分配率で評価されるような労働力に関する経営指標が重要視され、省力化、省人化が重要課題となった。その結果、従業員1人を省くのに、どの程度設備投資で採算が合うかといった問題が検討された。それが1974年の第1次石油危機以降、石油価格の高騰によって、石油が最も重要な稀少性資源と見なされるようになり、そのため、特にエネルギー多消費型産業の経営者にとって、エネルギー生産性に関する指標が重視さ

れるに至った。このことは、従来の「省エネルギー」の意味が「save energy」という単にエネルギーを節約するという消極的な意義から、「energy conservation」というエネルギー管理によって、新しいエネルギーを比較的低廉な投資で生み出すという積極的な意義への転化を意味することであった。

このように省エネが終局的にはエネルギーの生産性を高めることにあるから、省エネの対策に当っては、プロセス解析をベースにエネルギーの流れ（同時に物の流れも必要である）を系統的に把握する必要がある。また対策そのものが総合的に実施されねばならないため、省エネの進め方そのものがシステマティックでなければならない。つまり、省エネ対策を進める上でハードな面（断熱材の利用、レキュペレーターやドレン回収装置の導入など）とソフトな面（省エネ診断、分析、対策の手法）の有機的結合が重要となる。ここでは、主として後者に関わるシステム的手法について解説する。

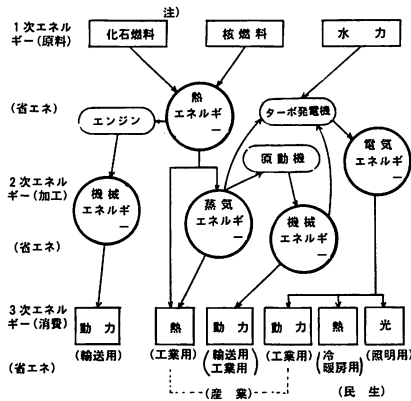
図-1は、省エネをエネルギーの基本システムの中で位置づけたものである。大部分の1次エネルギー（エネルギー源としての太陽、風力等は省いた）は熱エネルギーにいったん変換の上、電気、機械、蒸気などのエネルギーに加工されて2次エネルギーとなり、その後3次エネルギーの形で最終消費される。省エネは、これらの変換、加工、消費の過程で実現されるもので、変換、加工、消費の効率を高めることが省エネ対策となる。特に2次エネルギーのほぼ70%を占める熱エネルギーの有効利用、排熱の回収利用などに省エネの重点がある。

\* 大阪府立工業技術研究所化学工学研究室

〒550 大阪市西区江ノ子島2-1-53

\*\* 大阪府立産業能率研究所工業経営部

\*\*\* 大阪エンジニアリング㈱



注) 輸入原料 (原油・LPG・LNG・石炭・コークス)  
 精製、加工原料 (重油・ナフサ・灯、軽油・揮発油・ジェット・燃料・LPG・潤滑油・その他) (炉ガス・コークス・都市ガス)

図-1 エネルギーの基本システム

## 2. 省エネルギー推進の阻害要因

従来行われてきた省エネルギー活動において、目標とする成果を達成できなかった工場は少なくない。それも単なる節約運動として、照明のこまめな消灯や節水運動などでは、時間がたつにつれ、元の状態にもどることが多い。ここでは、これまでの省エネ推進において阻害要因となってきた問題点を示す<sup>2-5)</sup>。

- (1) 経営者、工場長、技術部長など関連分野の責任者が省エネルギーを自分の任務と考えておらず、組織的運営の必要性を感じていない。そのため省エネに対する管理体制が不十分で、従業員に対する教育もきわめて低調である。つまり省エネ推進の責任体制に問題がある。
- (2) 一律的な削減目標を示すだけで、その可能性も具体策も追求せずに放置したり、改善も思いつきだけでやるだけで計画性がない。
- (3) 工務部門または動力部門のみの改善が主で、製造工程の改善が不十分である。つまり、動力部門の熱管理者が生産工程のことを知らず、生産管理者が熱管理に関心がなく、協力して解決しようとせず断片的改善になりがちである。
- (4) 製造現場による改善が主体で製造技術・装置技術との結果が見られない。  
特に中小企業では、
- (5) 製品品質や、生産量の目標達成に精一杯で省エネルギーまで手が回らないとあきらめている。
- (6) そのため、容易に実行できるエネルギー源の支払いにおける温度補正や使用エネルギーの質と量

について正確に把握し、統計記録をとることすら行われていない。

- (7) また、熱機器操作の基礎的知識、手法が運転員に示されていない。
- (8) エネルギー消費の実態を計数化せず、損失把握もしないで、省エネの限界を唱える者が幅をきかせている。
- (9) その結果、メーカーのいいなりに省エネルギー機器と称するものを導入し、工程全体のバランスをかえってこわしている。  
他方、大企業では、
- (10) 投資効果の良好な省エネ対策は、既に実施済の状況で「転機」にきていると云われ、今後は、投資効果の面だけでなく、技術的な面からも不確定な要素が増しており、省エネ投資への提案、決断がやりにくい状況へと移りつつある。

云いかえれば、これらの問題点を克服することが、省エネルギー推進の条件作りと云える。しかしながら、エネルギーは目に見えにくく、なかなか定量的に把握できにくい特性を持っており、効率の悪い使用状態が定量的に把握されず、またロスを生じさせる要素が多岐にわたり、一部門の担当者が改善できる内容には限度があることである。このことから、省エネルギーを実効あるものにするためには、単一工程、プロセス全体、さらに工場全体の把握が必要であり、製造、生産技術、工務部門等を一体として、生産システムの省エネルギー化を図ることが必要であり、各関連部門の担当者がプロジェクトを編成し、システムティックな改善を進めることが必要である。

## 3. 省エネルギーのためのシステム的手法

現在、数多く応用されている省エネルギーのためのシステム的手法は、従来、実施されてきた熱管理に、一般的な管理技法として発展してきたIE (Industrial Engineering), QC (Quality Control), OR (Operation Research), VE (Value Engineering) などの考え方をうまく結合させて作られてきており、エネルギーの総合的管理手法とも云うべきものである<sup>6-9)</sup>。これらのシステム的手法は、エネルギーを大量に消費する大企業においては、電算機システムの利用によって、一層有効な役割を果たしているが<sup>10)</sup>、中小企業にとっては、省エネの技術・方法などの知識や情報の欠如、人材の不足等の理由で、十分に使いこなせていないのが実状である。

省エネルギー対策は基本的に次の3つの段階に分けることができる。

- (1) 既存設備を前提にして、エネルギー管理を徹底的に強化する段階で、主として操業条件の改善を図ることによって、5～7%の省エネ効果を目標とする。
- (2) 一部の設備改善を行なって、排ガスの有効利用を図るなど、小規模の投資を要する段階で、10～20%の省エネ効果を目標とする。
- (3) 省エネのための新規プロセスの開発、設備の根本的改造など大規模な投資が必要であり、省エネ効果も30%以上が目標となる。

この(2)の段階について、ERP-20 (Energy Reduction Program) と呼ばれる手法が日本能率協会によって開発されており<sup>4,9)</sup>、その特徴は既存設備を前提として余り金をかけないでエネルギーコストを15～25%節減できる改善手法にある。ここで述べるシステム的手法

は、ERP-20を基にし、さらに幾つかの省エネ診断の経験を踏まえて、より一層中小企業向けに実用的であるように工夫をこらしたものである。

省エネルギーの基本的な段取りは

- (1) 実態調査によるエネルギー削減目標の設定
- (2) 省エネテーマの抽出
- (3) 改善案の立案、評価

である。これらの段取りの後、実行計画化がなされる。

これらの基本的な段取りをさらに、(1)を中心に細かい手順の進め方を示したのが図-2である。以下に図-2の手順に従って説明する。

① 製造プロセス分析

製品の製造プロセスのフローシートの概略と使用エネルギーの形態別使用プロセスの図を作成する。例えば鑄造工程の場合、図-3のようになる。ここでは、工程図の下段に、共通工程とそれ以後の大型(L)製品と小型(S)製品の系列別の分析、並びに使用エネルギー

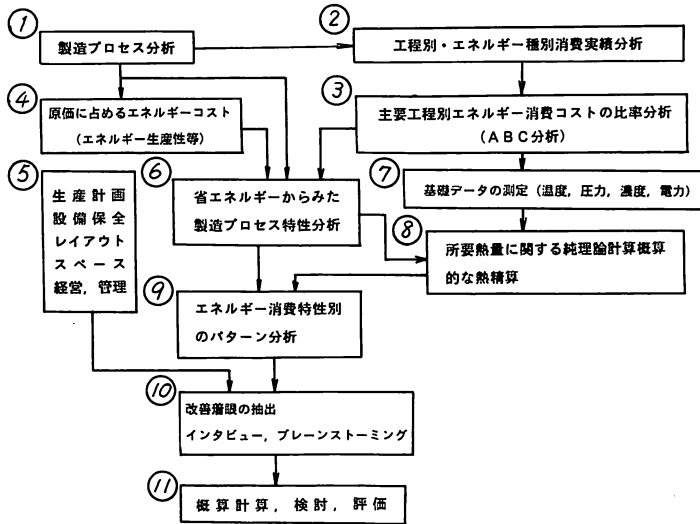
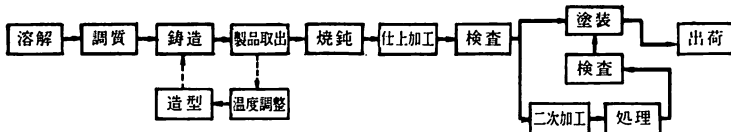


図-2 省エネルギー診断・分析の進め方



共通工程	A(コークス) D(重油)							
L製品系列		E(コークス) G(重油)	C(重油)					F(重油)
S製品系列			B(重油)					

注) 1. 消費実績ABC…は、図-4参照のこと。  
 ■の範囲は消費量も比較的少なく、共通対策が可能であるため両者を累計で表示した。

図-3 製品の製造プロセスとエネルギーの形態別消費実績<sup>9)</sup>

の種類を示している。

② 工程別・エネルギー種別消費実績分析

工程別に製造記録とエネルギー使用実績から、過去2年間の月間単位での生産量、エネルギー使用量、使用経費を表にまとめ、グラフ線図で表示して、エネルギー原単位の変動分析など系統的分析を行う。回帰分析、時系列分析の手法を応用する。

③ 主要工程別エネルギー消費コストの比率分析

図-4のようにエネルギーコストの工程別消費比較図を作成し、工程の種類とコストとの関係を表す。このようなヒストグラフから省エネルギーの主要対象設備が容易に把握できる。図から、共通工程である溶解工程と大型製品および小型製品の焼鈍工程とで消費エネルギーの97.3%を消費していることがわかる。従って、この2つの工程が省エネルギーの主要対象設備となる。なお、燃料の消費実績等の数値は企業秘密事項であることが多いので、外部の者が診断する場合には、取扱いに注意が必要である。

この場合、設備能力と稼動状況についての分析も併せて行うのが望ましい。

④ 原価に占めるエネルギーコスト分析

原価構成を調査するために決算書を分析する。これによって経営面からのエネルギーコスト等を分析し、次のような指標を求める。これらの指標は、同業他社との比較に用いることができる。

$$\langle \text{付加価値生産性} \rangle = \frac{\text{付加価値額}(V)}{\text{従業員数}(L)}$$

$$\langle \text{資本装備率} \rangle = \frac{\text{機械装備額}(K)}{\text{従業員数}(L)}$$

$$\langle \text{エネルギー生産性} \rangle = \frac{\text{付加価値額}(V)}{\text{エネルギーコスト}(E)}$$

$$\langle \text{エネルギー資本生産性} \rangle = \frac{\text{エネルギーコスト}(E)}{\text{機械装備額}(K)}$$

$$\langle \text{労働分配率} \rangle = \frac{\text{人件費}(P)}{\text{付加価値額}(V)}$$

$$\left\langle \begin{array}{l} \text{従業員1人当り} \\ \text{エネルギー使用額} \end{array} \right\rangle = \frac{\text{エネルギーコスト}(E)}{\text{従業員数}(L)}$$

なお、付加価値生産性には、

$$\langle \text{付加価値生産性} \rangle = \langle \text{資本装備率} \rangle \times \langle \text{エネルギー生産性} \rangle \times \langle \text{エネルギー資本生産性} \rangle$$

の関係がある。

ここで、エネルギーコストとは、購入電力使用額、ガス、重油等燃料使用額を合計したものである。

表1に中小企業のうち、エネルギー消費の大きい業

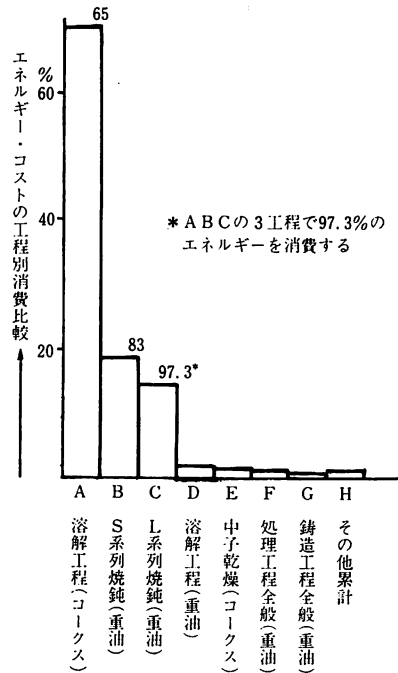
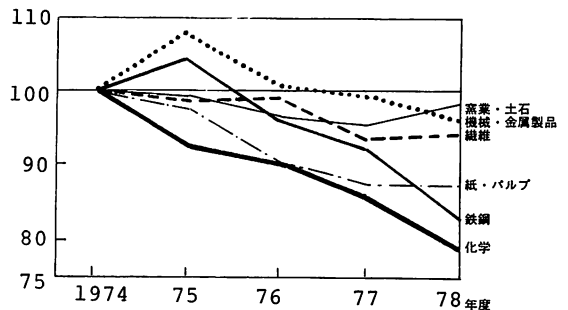


図-4 主要工程別エネルギー消費コストの比率<sup>9)</sup>



(注) エネルギー原単位はエネルギー消費量/鉱工業生産指数 (資料) 通商産業省「鉱工業指数年報」, 日本エネルギー経済研究所「エネルギーバランス表」により作成

図-5 業種別エネルギー原単位指数の推移<sup>11)</sup> (1974年度=100)

種について、1974年の第1次石油ショック直前と以後とについての各社の平均値を示す。また図-5に主要産業のエネルギー使用原単位の推移を示す<sup>11)</sup>。表1では、金額を、図-5では、物量を基準にした指標が示されている。これらの指標から、物量基準でみると省エネ対策の結果、エネルギー使用原単位が減少しているものの、金額基準にするとエネルギー生産性の悪化が見られる。

⑤ 生産計画・設備保全等

手順④と併行に進めるとよい。企業の全体的な概要とこれまでの企業の歴史、経営姿勢等を聞きとり調査

表1 中小企業のエネルギー消費特性値

業 種	企業数	年 度	付加価値 生産性 (V/L)	資本装備 率 (K/L)	エネルギー 生産性 (V/E)	エネルギー 資本生産性 (E/K)	労働分配 率 (P/V)
製 造 業	2928	1976	4827.8	861.6	27.13	.207	46.2
	3131	1978	5834.8	1044.1	24.27	.230	46.0
鍛 工 品	44	1974	4886.0	1329.3	17.04	.216	43.1
	15	1976	6563.0	1707.6	7.99	.481	45.3
	18	1978	8243.7	2416.6	8.21	.415	42.2
鋳物工業	157	1974	4064.4	854.0	26.37	.181	41.7
	65	1976	5676.6	1114.6	16.14	.316	45.4
	97	1978	6741.2	1224.1	14.31	.385	45.1
染色工業	34	1974	3513.8	727.4	17.77	.272	48.8
	28	1976	6919.2	986.2	10.13	.692	42.3
	46	1978	6976.4	1074.3	8.74	.743	46.5
陶 磁 器	18	1974	2172.3	301.6	26.33	.273	54.2
	36	1976	3360.4	369.9	17.34	.524	58.2
	26	1978	3922.2	395.1	14.97	.663	59.4
熱 処 理 加 工 業	22	1974	4860.0	1169.0	10.62	.391	40.5
	8	1976	6918.8	933.7	9.05	.819	43.9
	11	1978	8370.5	1441.2	7.70	.755	39.4
ダイ カスト	16	1974	3440.3	699.4	24.38	.202	45.9
	7	1976	3993.1	859.1	20.53	.226	53.6
	16	1978	5895.8	1175.0	13.87	.362	49.6
合 板 製 造 業	39	1974	5639.9	1326.7	28.15	.151	28.6
	11	1976	6912.4	1137.6	27.91	.218	31.7
	18	1978	6787.0	1351.7	16.72	.300	38.2
ホーロー 鉄 器	17	1974	3076.8	488.8	16.76	.376	40.9
	11	1976	3809.0	469.3	7.74	1.049	46.0
	8	1978	4501.1	546.9	10.33	.797	50.9

出所：中小企業庁「中小企業の原価指標」より計算

する。また、レイアウト、スペース等の実状を把握し、エネルギーに関する管理状況を調べる。これらの全般的な情報は省エネ改善着眼の抽出の場合の資料となる。

#### ⑥ 省エネルギーからみた製造プロセス特性分析

製造プロセス中を原料が流れていく場合の原料の温度変化と時間の関係を概念図に表す。これによってエネルギーの質について考察できる。(量については手順②)

次に、プロセスシステムの解析によってシステム・フロー図を描き、各プロセスの入、出力を表す状態変数と温度、圧力などの操作変数を区別して記入する。これによってプロセスシステムを構成する各プロセスが機能別に表示できるようになる。機能の種類として、次のような単位操作が考えられる。

伝熱(加熱、冷却、熱交換)、蒸発(濃縮)、吸収、蒸留、吸着、抽出、調湿、乾燥、粉碎、混合(攪拌)、分離、濾過、洗浄、化学反応等

#### ⑦ 基礎データの測定

多くの企業では燃焼管理に際して、排ガスの分析、温度測定などの実測による管理はほとんど行われてお

らず、目視や長年の経験による判断に委ねられているのが現状である<sup>3)</sup>。そのため、省エネ診断、分析に当たって、必要な基礎データを測定しなければならない場合が多い。

測定データとして例えば

(1)気温、(2)湿度、(3)燃焼ガス中の酸素濃度、(4)燃焼用空気温度、(5)燃料予熱温度、(6)排ガス温度、(7)材料の入口、出口温度、(8)材料の最高加熱温度、(9)炉内圧力、(10)燃料使用量、(11)材料処理量、(12)炉壁温度、(13)炉壁面積、寸法、(14)治具重量、(15)入口水温、(16)蒸気使用圧力、(17)蒸気使用温度、(18)蒸気使用量、(19)使用電力量、(20)最大使用電力量

が考えられるが、概算的な熱精算に必要な精度であればよい。

一般に計測に当たっては、測定の目的、測定すべき設備、測定箇所、測定方法、測定精度、測定機器、測定時期などの事前の検討が必要である。測定機器としては、燃料流量計、酸素濃度計、温度計、表面温度計、圧力計等の充足が要求される。

#### ⑧ 概算的な熱精算

熱精算の方法については、関連文献に詳しく述べられているが<sup>12-14)</sup>、計算に当って、加熱材料や排ガス等の物性値の正確な把握が重要となる。また、単に熱精算図を作るだけでなく、例えば焼成条件が変化した場合のエネルギーの分配状況を予測できるようなシミュレーションを行なうことも重要である。それらのためには、温度変化に伴う物性値の変化した値が必要となるが、数式モデルを用いると便利である。表2に各種ガスの平均定圧比熱(y)と温度(t)との関係を多項式モデルで近似した場合の係数の値を示した。実際、ほうろう焼成炉一基についてこのような数式モデルをもとにした簡単なエネルギー収支計算システムを開発して省エネ診断・分析を行ない、成果を挙げることができた(使

表2 各種ガスの平均定圧比熱の数式モデル  
 $y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$  (kcal/Nm<sup>3</sup>°C)

	a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>0</sub>
H <sub>2</sub>	3.492 E - 09	8.159 E - 06	3.060 E - 01
空気N <sub>2</sub>	- 9.272 E - 10	2.741 E - 05	3.059 E - 01
O <sub>2</sub>	- 1.006 E - 08	5.213 E - 05	3.109 E - 01
CO	- 3.036 E - 09	3.294 E - 05	3.075 E - 01
H <sub>2</sub> O	7.177 E - 10	5.505 E - 05	3.373 E - 01
CO <sub>2</sub>	- 4.416 E - 08	1.809 E - 04	3.962 E - 01
SO <sub>2</sub>	- 4.444 E - 08	1.610 E - 04	4.326 E - 01
空気	- 3.097 E - 09	3.308 E - 05	3.068 E - 01
CH <sub>4</sub>	- 3.866 E - 08	3.164 E - 04	3.650 E - 01
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	- 1.685 E - 07	5.743 E - 04	4.511 E - 01
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	- 1.280 E - 07	3.231 E - 04	4.630 E - 01

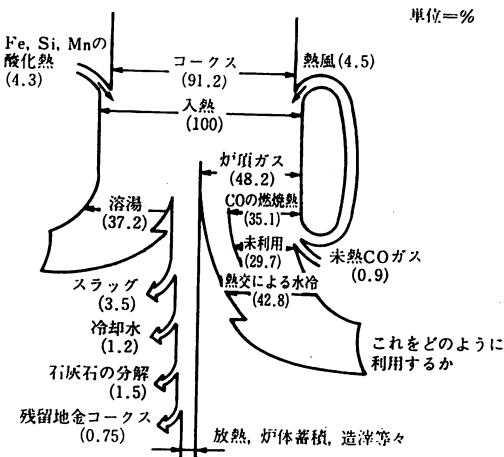


図-6 キューポラの熱精算図<sup>9)</sup>

用計算機はパーソナルコンピューターで充分であった。)<sup>16)</sup>

なお、熱量の大きさを把握するだけでは充分でなく、熱力学の第1法則のみならず、第2法則の考え方が必要であって、エネルギーの質を考えた使用可能なエネルギーがどのくらいあるかを把握することが重要である。そのために、図-6に示したような熱精算図を作成した後、図-7に従って熱量の分配状況を分析し、把握する。

⑨ エネルギー消費特異性のパターン分析

これまでの手順を基にして、エネルギーの形態別(熱、蒸気、電力、用水、圧縮空気)に発生から消費までの系統分析を行い、その過程でのエネルギーロスを把握する。

パターン分析は同時に改善の視点を明らかにしていく作業でもある。

⑩ 改善着眼の抽出

これまでの情報を整理して、簡単なF/N分析、ロス分析等を応用して得られるアイデア、問題点、着眼点など粗テーマを洗い出す。

⑪ 概算計算、検討、評価

(1) 粗テーマの整理と体系化を行い、検討に値する実現性の高い省エネテーマへと発展させる。

(2) 省エネテーマを解決できるレベルに応じ、表3のように区分し、省エネルギーの短期的、中期的、長期的テーマをすべて発掘し、それぞれについて評価する。

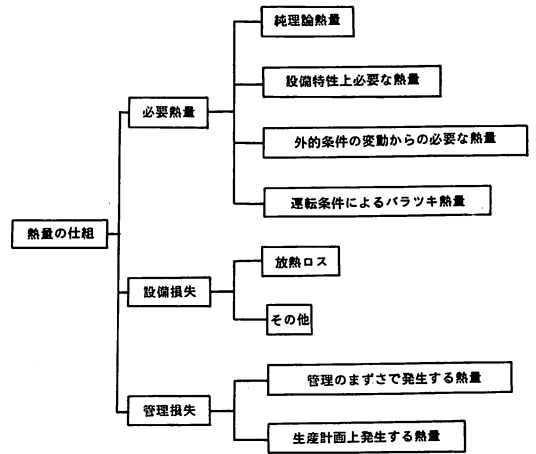


図-7 熱量の仕組<sup>15)</sup>

表3 テーマのレベル区分<sup>4)</sup>

レベ ル	内 容	節 減 率
L <sub>1</sub> (工場レベル 工場側が主体とな り、調査分析し、 プロジェクトが必 要時、応援する。)	イ. 採算計算のみで技術 的にOK ロ. 技術的確認が必要で あるが、工場側で可能 である	10%程度
L <sub>2</sub> (プロジェクトレベル プロジェクト側が 主体となり、調査 分析し、必要時工 場の協力を求める)	イ. 技術的・経済的検討 がやや必要なもの ロ. 技術的に可能、経済 的メリットは既存工場 では無理なもの	20%程度
L <sub>3</sub> (本社レベル 本社の技術者を混 えた検討が必要)	イ. 専門技術者の検討を 要するもの ロ. 工場実験レベル ハ. 研究実験レベル ニ. アイデア段階のもの	30%以上

4. おわりに

省エネルギー推進のための解説書があいついで出版されているものの、工場現場の実状に合ったものを作るには、やはり現場技術者が自ら省エネ対策の方法を開発する心構えが必要である。そのためには、システムの発想が必要であり、個別技術を活用した総合的な方法を確立すべきである。

ここでは、省エネルギー診断のシステムの手法として製造プロセスの分析から、改善テーマの抽出にいたる手順についての基本的な考え方を述べた。

参 考 文 献

- 1) 末綱一郎, 興銀調査, 202, 2 (1980)
- 2) 大谷康夫, 省エネルギーのための燃焼管理入門, 省エネルギーセンター, (1979)
- 3) 江口正隆, 省エネルギー, Vol. 31, No. 6, 25 (1979)
- 4) 中森清美, 省エネルギー, Vol. 32, No. 7, 39 (1980)
- 5) 日本化学工業協会技術委員会, 日化協月報 1980年1月号, 24 (1980)
- 6) 佐田哲男, 省エネルギー, Vol. 31, No. 12, 6 (1979)
- 7) 武知孝宣, 技術者のための省エネルギー入門, 日本能率協会 (1980)
- 8) 武知孝夫, SAVE プログラムによる実践・省エネルギーの進め方, 省エネルギーセンター (1978)
- 9) 折井彦彦, IE, 16 (1976. 7)
- 10) 伊藤周他, システムと制御, 24, 453 (1980)
- 11) 日本経済新聞, 1980年12月7日版
- 12) 日本熱エネルギー技術協会編, 熱管理便覧改訂三版, 丸善 (1972)
- 13) 日本工業炉協会編, 工業炉ハンドブック, (株)東京テクノセンター (1978)
- 14) 化学工学協会編, 化学工学便覧改訂四版, 1359, 丸善 (1978)
- 15) IE 編集部, IE, 31 (1976. 4)
- 16) 吉田総夫他, 窯業における省エネルギーの研究, 中小企業庁成果普及講習会テキスト, 61 (1980)

話の泉

日本の技術開発は“超後進国型”だ

基礎と応用研究からの創造性高揚を説く

ノーベル・プライズ・ウィナー

母校京大にて

江崎玲於奈博士(米IBMトーマス・J・ワトソン研究所, IBMフェロー)は母校, 京都大学で最近講演を行なった。世界でも類例のないほど完備したイオン工学実験施設の完成を祝って特別講演したもののだが, その前半ではわが国の科学技術開発が“超後進国型”と鋭く批判した。速記ノートからその要旨を紹介しよう。

(K)



(写真は, 講演中の江崎博士)

(注) 今回の“話の泉”の日本の技術開発は超後進国型だは, 其の1, 其の2, 其の3まであり, 全て本号に掲載しております。